

第26回極域気水圏シンポジウム プログラム・講演要旨

The Twenty-sixth Symposium
on
Polar Meteorology and Glaciology
Programme and Abstracts

2003年11月19日(水)～11月20日(木)
November 19～20, 2003

国立極地研究所

National Institute of Polar Research
Tokyo, Japan

氷雪と水圏環境の相互作用

表 目 次

第 26 回極域気水圏シンポジウム

【第 1 日】 11 月 19 日 (水)

【第 2 日】 11 月 20 日 (木)

第 26 回極域気水圏シンポジウム

プログラム

日 時： 2003 年

11 月 19 日 (水) 09:45~17:35

11 月 20 日 (木) 09:30~17:05

会 場： 国立極地研究所 講堂 (6 階)

主 催： 国立極地研究所

第26回極域気水圏シンポジウム 日程表

国立極地研究所 6階講堂

2003年11月19日 (水)	2003年11月20日 (木)
9:45 ~ 9:50 開会の挨拶 渡邊興垂 (極地研所長)	9:30 ~ 11:00 VI. 気候 (一) 大気・物質輸送・放射 (7) 座長: 山崎孝治 (北大)、林政彦 (福大)
9:50 ~ 11:20 I. 両極域での雪氷研究 I (7) 座長: 佐藤和秀 (長岡高専)	11:00 ~ 11:10 <Coffee Break>
11:20 ~ 11:30 <Coffee Break>	11:10 ~ 12:25 VII. 気候 (二) 大気力学 (6) 座長: 本田明治 (地球フロンティア)
11:30 ~ 12:35 II. 両極域での雪氷研究 II (5) 座長: 庄子 仁 (北見工大)	12:25 ~ 13:25 <Lunch>
12:35 ~ 13:35 <Lunch>	13:25 ~ 14:25 PII. ポスター発表 (24)
13:35 ~ 14:35 PI. ポスター発表 (23)	14:25 ~ 14:35 <Coffee Break>
14:35 ~ 14:45 <Coffee Break>	14:35 ~ 15:40 VIII. 海洋 (5) 座長: 長島秀樹 (東京海洋大)
14:45 ~ 15:35 III. 衛星を用いた極域研究 (4) 座長: 西尾文彦 (千葉大)	15:40 ~ 15:50 <Coffee Break>
15:35 ~ 15:45 <Coffee Break>	15:50 ~ 17:05 IX. 海氷・オホーツク海 (6) 座長: 榎本浩之 (北見工大)
15:45 ~ 16:35 IV. 大気・エアロゾル・オゾン I (4) 座長: 原圭一郎 (極地研)	
16:35 ~ 16:45 <Coffee Break>	
16:45 ~ 17:35 V. 大気・エアロゾル・オゾン II (4) 座長: 青木周司 (東北大)	
18:15 ~ 19:30 <懇親会> 会場: 研究棟2階 講義室	

* 各セッションの () 内の数字は講演数

* 口頭発表の講演時間は12分 (発表10分、質疑2分)

第26回極域気水圏シンポジウム

プログラム

口頭発表の講演時間は12分（発表10分、質疑2分）

2003年11月19日（水）

I. 両極域での雪氷研究 I (7)

9:50 ~ 11:20

座長: 佐藤和秀（長岡高専）

- 1 カナダ、ローガン山フィルン層の密度プロファイルにみられる季節シグナル
金森晶作、白岩孝行、堀彰（北大・低温研）、東久美子（極地研）、的場澄人（環境研）、瀬川高弘（東工大）、成瀬廉二（北大・低温研）
- 2 2003年アラスカ・マッコール氷河雪氷調査報告(1)
高橋修平（北見工大）、五十嵐誠（極地研）、瀬川高弘（東工大）、Frank Pattyn (Univ. Brussel)、Matt Nolan (Univ. of Alaska Fairbanks)、藤井理行（極地研）
- 3 2003年ロシア連邦アルタイ山脈ベルーハ氷河における171mのアイスコア掘削報告
竹内望（地球研）、Vladimir Aizen（アイダホ大）、Stanislav Nikitin（トムスク大）、植竹淳（東工大）、山崎哲秀（MTS）、高橋昭好（地球工学）、藤田耕史（名大）、中尾正義（地球研）
- 4 アルタイ山脈ベルーハ氷河におけるアルカン類
三宅隆之（地球研）、中澤文男（名大院・理）、竹内望（地球研）、藤田耕史（名大院・環境学）、大田啓一（滋賀県立大）、中尾正義（地球研）
- 5 ブータン・ルナナ地方における氷河融解量の推定
鈴木亮平、上田豊、坂井亜規子、松田好弘（名大・環境学）、内藤望（広島工大）、山田知充（北大・低温研）、カルマ（ブータン地質調査局）
- 6 寒冷氷河における水路の発達と消滅
イセーンコ・イエフゲーニ、成瀬廉二（北大・低温研）
- 7 北極域における新積雪密度の特性
梶川正弘（秋田大）、金谷晃誠（第一建設工業）、菊地勝弘（秋田県立大）、遊馬芳雄（北大院・理）、佐藤昇（大阪府教育センター）

II. 両極域での雪氷研究 II (5)

11:30 ~ 12:35

座長: 庄子 仁（北見工大）

- 1 ドームふじコアのダストフラックスと発現域面積の変化から推定した過去15万年の風速の復元
藤井理行、渡邊興亜、河野美香（極地研）、的場澄人（環境研）、鈴木利孝（山形大）
- 2 次世代型氷床内部探査システムに関する基礎的研究
～氷融解式掘進装置開発のための基礎的な熱計算～
須藤祐子、齋藤聡輔、高橋弘（東北大院・環境科学）、本山秀明、藤井理行（極地研）、田中洋一（（株）ジオシステムズ）

- 3 Air Bubble-to-Air Hydrate Conversion in Antarctic Ice Sheet
Yu.A. Sheshukova (Kazan State Univ.), H. Ohno (ILTS, Hokkaido Univ.), V.Ya. Lipenkov (Arctic and Antarctic Res. Inst.), A.N. Salamatina (Kazan State University) and T. Hondoh (ILTS, Hokkaido Univ.)
- 4 Average Time Scale for Dome Fuji Ice Core, East Antarctica
E.A. Tsyganova, A.N. Salamatina (Kazan State Univ.), V.Ya. Lipenkov (Arctic and Antarctic Res. Inst.) and T. Hondoh (ILTS, Hokkaido Univ.)
- 5 On the structure and gas composition of deformed basal ice from a cold polar glacier
Samyn Denis (Univ. Brussels) , Fitzsimons Sean J. (Univ. of Otago) and Lorrain Reginald D. (Univ. Brussels)

PI. ポスター発表 (23)

13:35 ~ 14:35

- 1 ベルーハ氷河における花粉を指標とした季節別堆積量の復元
中澤文男、藤田耕史 (名大)、竹内望 (地球研)、植竹淳 (東工大)、Vladimir Aizen (アイダホ大)、中尾正義 (地球研)
- 2 アイスウェッジ形成についての考察
吉岡美紀、伊藤一 (極地研)
- 3 アラスカ、バローにおける降雪粒子落下速度の測定
佐藤研吾、高橋修平 (北見工大)、杉浦幸之助 (地球フロンティア)、大畑哲夫 (地球フロンティア/北大・低温研)
- 4 2003年アラスカ・マッコール氷河雪氷調査報告(2)
五十嵐誠、藤井理行 (極地研)、瀬川高弘 (東工大)、高橋修平 (北見工大)、Frank Pattyn (ブリュッセル自由大)、Matt Nolan (アラスカ大・フェアバンクス校)
- 5 中国・祁連山July 1st (七一)氷河観測の概要 (2002年)
松田好弘、坂井亜規子、藤田耕史 (名大・環境学)、中尾正義 (地球研)、段克勤、蒲健辰、姚檀棟 (中国科学院・寒区旱区環境与工程研)
- 6 新庄における雪面アルベドの変動に与える積雪物理量の影響
本吉弘岐 ((株)スペースサービス)、青木輝夫 (気象研)、阿部修、望月重人 (防災科研)、堀雅裕 (JAXA/EORC)
- 7 北極圏バローにおける水文気象観測
杉浦幸之助 (地球フロンティア)、大畑哲夫 (地球フロンティア/北大・低温研)
- 8 ロシア・アルタイ山脈南チュイスキー山地の山岳永久凍土の分布
福井幸太郎、藤井理行 (極地研)、Mikhailov Nikolai、Ostanin Oleg (アルタイ大)、Troshkin Dmitrii (名大)
- 9 Gas composition and structural analyses as tools for studying deformation of the basal ice from cold polar glaciers
Samyn Denis (Univ. Brussels) , Fitzsimons Sean J. (Univ. of Otago) and Lorrain Reginald D. (Univ. Brussels)

- 10 積雪内放射量と積雪層構造の観測
飯塚康子（総研大）、谷川朋範（筑波大）、青木輝夫（気象研）、堀雅裕（JAXA/EORC）、本吉弘岐（スペースサービス）、中島幸徳（RESTEC）、山内恭（極地研/総研大）
- 11 氷床流動が形成した南極氷床内部の電波散乱帯－航空機搭載の高周波レーダによる検出－
松岡健一（地球研/ワシントン大）、浦塚清峰（通総研）、藤田秀二（極地研）、西尾文彦（千葉大）
- 12 偏波と散乱を考慮した氷床中を伝搬する電波の理論的取り扱いとドームふじでのレーダ観測との比較
前野英生（通総研）、藤田秀二（極地研）、松岡健一（Univ. of Washington）、古川晶雄（極地研）
- 13 VHF偏波レーダ観測を用いての、南極ドームふじ頂部領域広域での氷床内部歪み履歴の抽出
藤田秀二（極地研）、前野英生（通総研）、松岡健一（Univ. of Washington）、古川晶雄（極地研）
- 14 異なる温度に保存されたドームFujiコアの体積緩和課程の目視観察
斎藤健、宮本淳（北大・低温研）、成田英器（地球研）、本堂武夫（北大・低温研）
- 15 ドームふじ深層コアによる古環境変動の周期性
佐藤和秀（長岡高専）、渡邊興亜、藤井理行、神山孝吉、本山秀明、古川晶雄、五十嵐誠（極地研）、金森悟（元名大・水圏研）
- 16 2003年度North GRIP活動報告
本山秀明（極地研）、田中洋一（ジオシステムズ）、庄子仁（北見工大）、渡邊興亜、藤井理行（極地研）
- 17 南極浅層コア（YM85）基本解析報告
五十嵐誠、本山秀明、古川晶雄、河野美香（極地研）、西尾文彦（千葉大）、亀田貴雄（北見工大）、鈴木利孝（山形大）、鈴木啓助（信州大）、佐藤和秀（長岡高専）、青木周司（東北大）
- 18 フィルン・エアの化学
金森悟、金森暢子（名大）、本山秀明、渡邊興亜（極地研）
- 19 ドームふじコアを用いた氷期、間氷期の短周期イオン濃度変動の比較
飯塚芳徳（弓削商船高専）、高田守昌、本堂武夫（北大・低温研）、藤井理行（極地研）
- 20 H72およびDome Southの浅層コアにおける化学成分濃度詳細分析
鈴木啓助、安斎香（信州大・理）、五十嵐誠（極地研）
- 21 人工積雪の波長別アルベド測定値と理論計算値の比較
谷川朋範（筑波大院）、青木輝夫（気象研）、八久保晶弘（北見工大）、堀雅裕（宇宙航空研究開発機構）、阿部修、望月重人（防災科研）、安仁屋政武（筑波大）
- 22 二値化変換と差分フィルタによる南極地表面の衛星画像の解析
一ノ瀬一志、小林雄二、菅厚太郎、間康雄、○藁科秀男（仙台電波高専）
- 23 85GHz輝度温度データによる南極昇温現象の検出と検証
高橋伸尚、畑中雅彦（室蘭工大）、平沢尚彦、和田誠（極地研）

III. 衛星を用いた極域研究 (4)

14:45 ~ 15:35

座長: 西尾文彦 (千葉大)

- 1 南極海110-140EセクターにおけるAMSR/AMSR-E検証海氷観測
榎本浩之 (北見工大)、館山一孝、田村岳史 (北大)、武藤淳公、西尾文彦 (千葉大)、牛尾収輝 (極地研)、R. Massom (タスマニア大)
- 2 ERS-2によるリュツォ・ホルム湾の海氷後方散乱特性把握
若林裕之 (宇宙航空研究開発機構)
- 3 GLI積雪プロダクトの解析と検証
堀雅裕 (JAXA/EORC)、青木輝夫 (気象研)、谷川朋範 (筑波大)、飯塚康子 (総研大)、本吉弘岐 (スペースサービス)、中島幸徳 (RESTEC)
- 4 衛星近赤外データを利用した南極域の雲検出
門崎学 (総研大)、山内恭、平沢尚彦 (総研大/極地研)

IV. 大気・エアロゾル・オゾン I (4)

15:45 ~ 16:35

座長: 原圭一郎 (極地研)

- 1 南極昭和基地周辺のエアロゾル観測
和田誠 (極地研)、猪原哲 (佐賀大)、芝治也 (高知高専)
- 2 春季北極対流圏中に存在する土壌性粒子の分布とその起源
原圭一郎、山内恭 (極地研)、A. Herber (AWI)、山形定 (北大・工)、猪股弥生、岩坂泰信、長田和雄 (名大院・環境学)、富川喜弘、佐藤薫 (極地研)、O. Schrems (AWI)、長谷正博、中田滉 (名大・太陽研)、平沢尚彦 (極地研)
- 3 南極自由対流圏のエアロゾル粒子
原圭一郎、和田誠 (極地研)、猪原哲 (佐賀大・工)、芝治也 (高知高専)、岩坂泰信、長田和雄 (名大院・環境学)、山内恭 (極地研)
- 4 北極域の雲科学 (3)
藤吉康志 (北大・低温研/地球フロンティア)、吉田一穂、粕谷英行 (北大院・地球環境)、堀江宏昭 (通総研)、塚本修 (岡山大・理)、石田廣史 (神戸商船大/地球観測フロンティア)

V. 大気・エアロゾル・オゾン II (4)

16:45 ~ 17:35

座長: 青木周司 (東北大)

- 1 冬季シベリア地域における大気汚染物質沈着量の評価
深澤達矢、玉上直人、村尾直人、太田幸雄、橘治国、清水達雄 (北大院・工)、永淵修 (福岡県保健環境研)、和泉薫 (新潟大・積雪地域災害研究センター)、山田知充 (北大・低温研)、西尾文彦 (千葉大)、藤井理行 (極地研)
- 2 スバルパール諸島ニーオールソン、南極昭和基地、および仙台市郊外における大気中酸素濃度の変動
石戸谷重之 (東北大)、森本真司、橋田元 (極地研)、青木周司 (東北大)、S. Maksyutov (地球フロンティア)、中澤高清 (東北大)

- 3 ADEOS-II搭載ILAS-IIによる2003年3～4月キルナにおけるILAS-II検証実験計画と2003年南極オゾンホール
の初期解析結果
中島英彰、杉田考史（環境研）、神沢博（名大院）、笹野泰弘（環境研）、Gerald Wetzels, Herman Oelhaf（ドイツ・IMK/FZK）
- 4 オゾンゾンデによる観測と同期したILAS-IIオゾンデータとの比較
杉田考史（環境研）、神沢博（名大）、中島英彰（環境研）、佐藤薫（極地研）

2003年11月20日（木）

VI. 気候（一）大気・物質輸送・放射（7）

9:30～11:00

座長：山崎孝治（北大）、林政彦（福大）

- 1 気候変化に対する熱塩循環の長期応答と大気淡水輸送の役割
村上茂教、鬼頭昭雄（気象研）
- 2 高濃度大気中二酸化炭素と氷床の南極底層水への影響
本井達夫、陳永利、李亨模（地球フロンティア）、阿部彩子（東大・気候システム研究センター）
- 3 極域における水蒸気輸送
大島和裕、山崎孝治（北大院・地球環境）
- 4 南極域における大気循環場からみた空気塊の輸送経路-1997年-
鈴木香寿恵（総研大）、山内恭、平沢尚彦（極地研）
- 5 ドームFコアから見積もった過去32万年間のダストによる短波長放射強制力の直接効果
青木輝夫（気象研）、藤井理行（極地研）
- 6 氷床コア中塩化メチルの測定に関する研究
斉藤拓也、横内陽子（環境研）、青木周司、中澤高清（東北大）
- 7 北部北太平洋表層-洋上大気間における硫化ジメチルの季節的比較
荒波一史（環境研）

VII. 気候（二）大気力学（6）

11:10～12:25

座長：本田明治（地球フロンティア）

- 1 オホーツク海高気圧に対応したリッジ発達に対する春期の雪氷の影響
河合隆繁（日大）
- 2 冬季北半球海水域変動と大気循環場変動とのかかわり-NAO及びENSOとの関連-
本田明治（地球フロンティア）、浮田甚郎（コロンビア大）、中村尚（地球フロンティア／東大）、立花義裕（地球フロンティア／東海大）、D. J. Cavalieri, C. Parkinson（米・航空宇宙局）、小出寛（気象庁）
- 3 AAMP98期間中に観測されたノルウェー海上のポーラーローの数値実験
遊馬芳雄（北大院・理）、塩原匡貴、和田誠（極地研）、G.W.K. Moore（カナダ・トロント大）

- 4 北極振動研究における力学的固有モードと強制中立モードの解析
田中博（筑波大）
- 5 北半球海水シーソーとNAOとの負のフィードバック
山本健太郎（東海大）、立花義裕（地球フロンティア/東海大）、本田明治（地球フロンティア）、浮田甚朗（NASA）
- 6 冬季AO/NAOと夏季の大気循環との関係－雪氷圏を通じた冬と夏のリンケージ－
小木雅世（北大・地球環境）、立花義裕（地球フロンティア/東海大）、山崎孝治（地球フロンティア/北大）

P11. ポスター発表（24）

13:25～14:25

-
- 1 夏季南極上空でのOPCによる成層圏エアロゾル観測とILASによる780nm消散係数との比較
白石浩一、林政彦（福岡大）、佐藤薫、平沢尚彦、山内恭（極地研）、渡辺征春（EORC/NASDA）、木津暢彦、江崎雄治（気象庁）
 - 2 フィンランド・ソダンキラでの降雪粒子・エアロゾルの観測（その2）
佐藤昇（大阪府教育センター）、梶川正弘（秋田大）、菊地勝弘（秋田県立大）
 - 3 航空機によるエアロゾル観測～第42次南極地域観測隊の観測より～
小林拓（山梨大）、中畠裕之（久留米高専）、和田誠、塩原匡貴（極地研）、長田和雄（名大）、山内恭（極地研）
 - 4 ドームふじの地表面近傍のエアロゾル粒径分布－sub-visible fog？－
林政彦（福岡大・理）、平沢尚彦、山内恭（極地研）
 - 5 2003/2004冬季、名大・福大Ny-Alesund成層圏エアロゾル観測計画
柴田隆、岩坂泰信（名大・環境学）、白石浩一、林政彦、藤原玄夫（福岡大・理）
 - 6 昭和基地のショート反転観測による解析オゾン鉛直分布
宮川幸治（高層气象台）
 - 7 ECCオゾンゾンデで観測されたカナダ・ユーレカ基地上空における成層圏オゾンの減少について
廣田道夫（気象研）、宮川幸治（高層气象台）、永田和彦（気象庁）、柴田清孝、永井智広（気象研）、藤本敏文、牧野行雄（気象庁）、内野修（広島地方气象台）、H. Fast（カナダ・大気環境局）
 - 8 2001年2月14日にヨーロッパ上空に出現したミニオゾンホールについて
忠鉢繁（気象研）、宮川幸治（高層气象台）、牧野行雄（気象庁）
 - 9 日本-ドイツ共同南極大気航空機観測計画
山内恭、和田誠（極地研）、Andreas Herber（AWI）
 - 10 アルタイ山脈ブルーハ氷河における過酸化水素とOHラジカルの測定
三宅隆之（地球研）、中谷暢丈、牧野慎也（広島大院）、新垣雄光（琉球大）、佐久川弘（広島大院）、中澤文男（名大院・理）、大田啓一（滋賀県立大）、竹内望（地球研）、藤田耕史（名大院・環境学）、中尾正義（地球研）

- 11 AAMP2002で観測された北極域対流圏から下部成層圏にかけてのCO₂濃度
町田敏暢（環境研）、森本真司（極地研）、渡井智則（地球人間環境フォーラム）
- 12 ACSYS-ABSIS 2003観測参加報告
舘山一孝、白澤邦男、高塚徹（北大・流氷研）、Jouko Launiainen、Pekka Kosloff、Tuomo Roine（フィンランド・海洋研）
- 13 JARE44夏隊における「しらせ」船上海氷観測結果について
宇都正太郎、下田春人、泉山耕（海上技術安全研）、牛尾収輝、橋田元（極地研）、若林裕之（宇宙航空研究開発機構）
- 14 SATVAL2003における電磁誘導式氷厚計による南極海水氷厚観測
舘山一孝、白澤邦男（北大・流氷研）、榎本浩之（北見工大）、田村岳史（北大・地球環境）、武藤淳公、西尾文彦（千葉大）、牛尾収輝（極地研）、宇都正太郎（海上技術安全研）、R. Massom（タスマニア大）
- 15 氷海航行記録から推定する南極リュツォ・ホルム湾の氷状変化
牛尾収輝、鮎川勝（極地研）
- 16 オホーツク海南部における厚い海氷・積雪の現場観測～2003年2月の観測から～
豊田威信、高辻慎也、舘山一孝（北大・低温研）、中山雅茂（NASDA）、直木和弘（千葉大）、大島慶一郎（北大・低温研）
- 17 オホーツク海のメタンハイドレート調査（カオス計画）
南尚嗣、八久保晶弘、坂上寛敏、百武欣二、高橋信夫、[○]庄子仁（北見工大）、アナトリー・オブジロフ（V.I.イリチェフ太平洋海洋学研）
- 18 Winter-summer difference in the surface water CO₂ system in the Greenland Sea in the late 1990's: connection to the North Atlantic Oscillation and deep convection?
Melissa Chierici and Agneta Fransson (NIES)
- 19 Inter-annual variability of sea-surface pCO₂ and sea-air CO₂ fluxes in the Beaufort Sea. Can we observe a short-term effect of the Arctic Ocean oscillation index?
A. Fransson (NIES) , L.A. Miller and R.W. Macdonald (Inst. of Ocean Sciences, Canada)
- 20 混合ガスハイドレート生成時のガス分別過程
八久保晶弘、三浦拓、山田浩太郎、百武欣二、阿部清、庄子仁（北見工大）
- 21 CH₄・CO₂ハイドレートの生成・解離速度の比較実験
山田浩太郎、三浦拓、八久保晶弘、百武欣二、阿部清、庄子仁（北見工大）
- 22 微小水滴からつくるCO₂ハイドレートの生成速度
中村尚央、阿部清、百武欣二、八久保晶弘、庄子仁（北見工大）
- 23 CO₂ハイドレートを含む氷の一軸圧縮強度
滝英紀、宮本淳、百武欣二、阿部清、八久保晶弘、庄子仁（北見工大）
- 24 昭和基地における飛雪量の定点観測と管理棟風下領域のスノウドリフト量の関係について
高橋弘樹、鮎川勝（極地研）、半貫敏夫（日大・理工）

VIII. 海洋 (5)

14:35 ~ 15:40

座長: 長島秀樹 (東京海洋大)

- 1 1952-2003年間の南極ドレーク海峡振動指数 (DPOI)
永延幹男 (遠洋水産研)、轡田邦夫 (東海大)
 - 2 南大洋インド洋セクターにおける水温・密度逆転の分布
日下朋子、北出裕二郎、松山優治、長島秀樹 (東京海洋大)
 - 3 南大洋インド洋セクターにおける深層流の構造について
鳴海吉洋、長島秀樹、北出裕二郎、川村有二、日下朋子 (東京海洋大)
 - 4 南極昭和基地海面水位の1981-2000年の長期変動
道田豊 (東大・海洋研)、館岡篤志 (東大・海洋研/NHK徳島放送局)、木下秀樹、並木正治、
小田巻実 (海上保安庁)
 - 5 北極海中央部での漂流ブイによる絶対流速観測
菊地隆、畠山清 (JAMSTEC)、James H. Morison (Univ. of Washington)
-

IX. 海氷・オホーツク海 (6)

15:50 ~ 17:05

座長: 榎本浩之 (北見工大)

- 1 Features of the methane distribution in the water column of the Okhotsk Sea
Renat Shakirov (Kitami Inst. of Tech./V. I. Il'ichev Pacific Oceanological Inst., Russia) ,
Anatoly Obzhairov (V. I. Il'ichev Pacific Oceanological Inst., Russia), Nicole Biebow (Tethys
Geoconsulting GmbH, Germany) and Olga Vereshchagina (V. I. Il'ichev Pacific
Oceanological Inst., Russia)
- 2 流水レーダー画像を用いた北海道沿岸の海氷の動きの解析
木村詞明、白澤邦男 (北大・低温研)
- 3 オホーツク海南部の氷厚発達過程について
豊田威信、河村俊行、大島慶一郎 (北大・低温研)、下田春人 (海上技術安全研)、若土正暁
(北大・低温研)
- 4 積雪および融解-再凍結による薄氷の熱的性質の変化
小嶋真輔、榎本浩之 (北見工大)
- 5 南極海におけるアイスバンド構造と大気場の関係
石田邦光 (鳥羽商船高専)、大島慶一郎 (北大・低温研)
- 6 南極海氷域における海氷の季節内変動
馬場賢治 (北大・低温研)、見延庄士郎 (北大・理)、若土正暁 (北大・低温研)

第26回極域気水圏シンポジウム

講演要旨

I.1

カナダ、ローガン山フィルン層の密度プロファイルにみられる季節シグナル

○金森晶作, 白岩孝行, 堀彰 (北大低温研), 東久美子 (極地研),
的場澄人 (国環研), 瀬川高弘 (東工大), 成瀬廉二 (北大低温研)

Seasonal variations in a density profile of the firn layer at Mount Logan

S.Kanamori, T.Shiraiwa, A.Hori, K.Goto-Azuma, S.Matoba, T Segawa,
and R.Naruse

A 220m long ice core was retrieved at King Col ($60^{\circ}35'20''\text{N}$, $140^{\circ}36'15''\text{W}$; 4135m), Mt. Logan, Canada in 2002. The density from surface to 70m depth was measured every 1 mm along its length, using X-ray transmission method, which gave an absolute accuracy of 1%. The density profile shows seasonal variations. The profile is useful to determine the age of each layer.

1. はじめに

カナダ・ユーコン準州のローガン山(5959m)において, 2002 年, 深度 220m の浅層コアを採取した(Goto Azuma 2003, Shiraiwa 2003)。掘削地点のキングコル($60^{\circ}35'20''\text{N}$, $140^{\circ}36'15''\text{W}$; 4135m)は年間を通じてほとんど融解がなく, 種々のシグナルがよく保存されていると考えられる。しかしながら, 様々な降雪起源を持つ, 高度効果が現れる, といった特徴から同位体比, 化学分析結果の解釈は難しい。そこで, これらと独立した物理的な特性である密度に注目し, 密度変動に残された季節および年々変動のシグナルを探るべく, 70m 深までの主にフィルン層について詳細な密度測定を行った。その結果について報告する。

2. 測定方法

X線透過率測定装置(理学電機製)を用いX線透過法で測定を行った。X線透過法は氷密度による線吸収係数の違いを利用した測定法で, 分解能は深さ方向に 1mm 毎, 精度 1%の密度データが得られる(Hori et al., 1999)。また, IP(Imaging Plate)を用い, コアの X 線透過画像を取得した。

3. 結果と考察

表層 1.3m から 70m までの密度プロファイルを図 1 に示した。多数のスパイク状高密度層は氷板によるものである。氷板の分布を MFP(Melt Feature Percentage)に換算し, 図 2 に示した。密度プロファ

イル及び IP 画像から深さ 55m まで、184 層の氷板を確認した。以深は圧密が進み同定は困難となった。密度プロファイルから氷板の影響、圧密によるトレンドを除去したプロファイルを図 3 に示した。深さは水当量に換算した。70m 深、水当量で 55m 深までに約 80 回の振動が見られた。また、密度の振動と氷板の分布には関連性は見られなかった。密度の変動は・初期密度の違い、・圧密速度の違いによって起こると考えられる。前者は涵養速度、後者は温度の影響を強く受け、この両者は季節性を反映する。したがって、プロファイルに表れた密度変動は季節シグナルを反映している可能性が高い。

4. まとめ

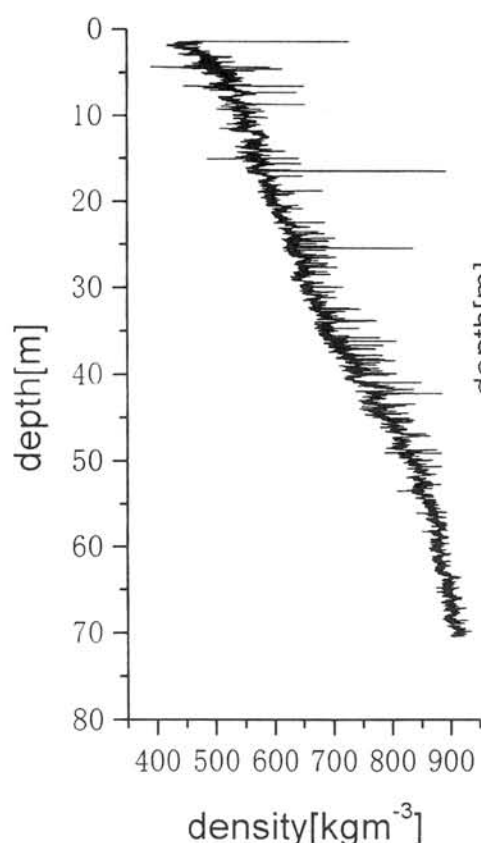


図 1 密度プロファイル

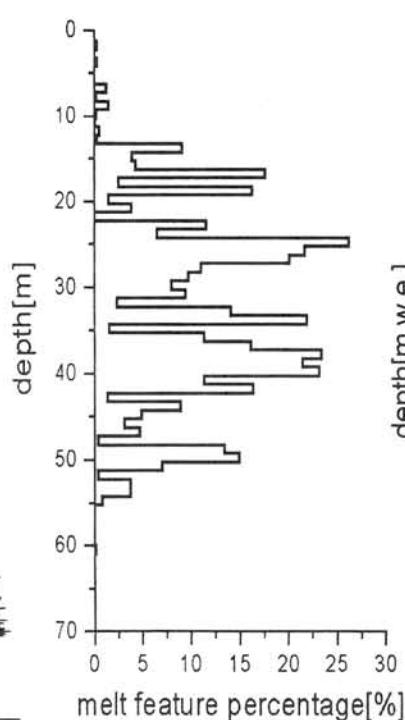


図 2 氷板の分布

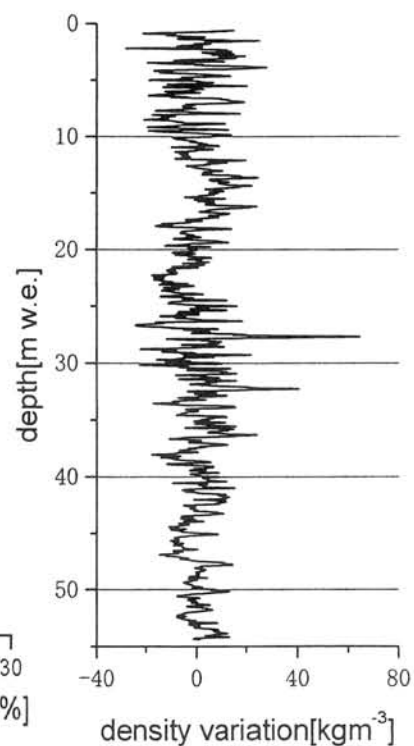


図 3 氷板、圧密によるトレンドを除いた密度プロファイル

ローガン山フィルン層について、詳細な密度測定を行い季節シグナルとみられる密度変動を確認した。このことは密度プロファイルの年層決定への利用可能性を示唆している。

参考文献 A.Hori et al.(1999) Annals of Glaciology,29,211-214

2003 年アラスカ・マッコール氷河雪氷調査報告(1)

高橋修平(北見工大), 五十嵐誠(国立極地研), 瀬川高弘(東工大), Frank Pattyn (Vrije Universiteit Brussel), Matt Nolan (University of Alaska Fairbanks), 藤井理行(国立極地研)

Glaciological observations on McCall glacier, Alaska, in 2003

(1)

S. Takahashi (Kitami Inst. of Tech.), M. Igarashi (NIPR), T. Segawa (Tokyo Inst. of Tech.),
F. Pattyn (Vrije Universiteit Brussel), M. Nolan (Univ. of Alaska, Fairbanks), Y. Fujii (NIPR)

Glaciological observations were done on McCall glacier in Brooks Range, Alaska, for preparation of an ice-coring to the glacier bottom. The area above 2300m a.s.l. in Upper Cirque in McCall glacier is suitable for the ice-coring to the bottom, where the annual surface mass would never be negative. The maximum ice thickness in this area was about 150m by ice-radar observation. Ice and snow samples were obtained from the glacier surface along a flow line from the terminus to the accumulation area for chemical and biological analyses. Infrared images of glacier and mountain surfaces were taken to obtain surface temperature distribution.

調査の経緯

アラスカ・マッコール氷河は、国際地球観測年の観測対象として 1957 以来、長年に渡り、アラスカ大学を中心に観測されており、日本からも多くの研究者が観測を行っている。近年、GPS 測量によって精度よい流動量観測がなされ、その流動速度分布から、氷河は部分的に温暖氷河と寒冷氷河の両方の様相をもつこと明らかになった。また、氷河はこの数十年間において急激な氷河後退をしており、北極圏気候変化の指標として貴重なデータとなっている。

この氷河では氷河底部までの氷掘削は行われていない。そこで降水環境や大気環境の情報源を得るための氷掘削計画の予備調査として、2003 年 8 月に各種観測を行った。

この計画は IGBP/PAGES (古環境復元計画) と IASC (国際北極科学委員会) の国際プロジェクトとして進められている「環北極海雪氷コア観測計画」の一環である。

観測内容

氷コア掘削候補地点であるマッコール氷河涵養域(図 1)の Upper Cirque 標高 2300m 付近においてピットによる積雪断面観測およびハンドオーガーによる氷試料採取を行った。涵養域の表面付近積雪層構造は、積雪の中に厚い氷板が何枚も入っており、冬

に蓄積した冷気が、夏の表面融解水を再凍結させていることがわかる。

アイスレーダー観測によると掘削予定地点周囲における氷の厚さは 150m 前後であった。氷河末端部から涵養域まで、流線沿いに表面氷のサンプリングを行い、化学解析、生物解析が行われることになる。標高 2100m のモレーン上ベースキャンプからは、毎日、赤外カメラ撮影を行い、氷河および山腹岩盤の放射温度分布を得た(図 2)。

アラスカ大学グループは氷河の全流域に流動測定点を設け、GPS 干渉測位による流動量測定を行っている。氷河末端部は 1950 年代に較べて約 1 km 後退しており、この地域がかなり温暖化の傾向にあることを示している。

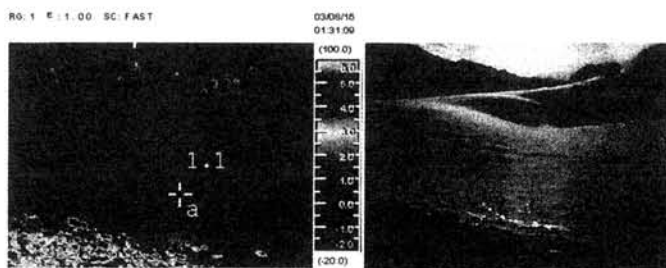


図 2. Upper Cirque の赤外画像(左)と可視画像(右)



図 1. McCall 氷河涵養域全景 (左から Upper Cirque, Middle Cirque, Lower Cirque)

2003 年ロシア連邦アルタイ山脈ベルーハ氷河における 171m のアイスコア掘削報告

竹内望 (地球研)・Vladimir Aizen (アイダホ大)・Stanislav Nikitin (トムスク大)・植竹淳 (東工大)・山崎哲秀 (MTS)・高橋昭義 (地球工学)・藤田耕史 (名大)・中尾正義 (地球研)

Preliminary report of 171m deep ice core drilling on Belukha Glacier in the Russian Altai Mountains in 2003

N. Takeuchi (Res. Inst. for Humanity and Nature), V. Aizen (Univ. of Idaho), S. Nikitin (Tomsk Univ.), J. Uetake (Tokyo Inst. Tec.), T. Yamazaki (MTS), A. Takahashi (Geo Tech.), K. Fujita (Nagoya U.), M. Nakawo (Res. Inst. for Humanity and Nature)

In order to reconstruct past environment change in the central Asia, Russia-USA-Japan joint ice core drilling project was carried out in 2001-03 on Belukha Glacier in the Russian Altai Mountains. In August 2003, a 171 m deep ice core was successfully drilled. Prior to the drilling, preliminary studies were done in 2001-02 to measure ice thickness, flow velocity, annual accumulation for the glacier. Here, we will report outline and preliminary results of the project.

ロシア連邦アルタイ山脈ベルーハ氷河において、2003 年 8 月、表面から底まで深さ 171m のアイスコアを掘削することに成功した。このアイスコアの掘削に先立ち 2001-02 の二年間、ベルーハ氷河の予備調査を行った。この掘削調査は、ロシア (トムスク大学)、アメリカ (アイダホ大学)、日本 (地球研) の三国共同研究として行われた。今回はこの 3 年間に約んだ掘削調査の概要について報告する。

ベルーハ氷河は、ユーラシア大陸の中心部に位置し、アルタイ山脈の最高峰であるベルーハ山 (標高 4506 m) より流れ出す氷河である。ドリルサイトとして選定した場所は、West col とよばれる氷河最上流部の雪原である (標高約 4100m)。

2001-02 の二年間の予備調査では、アイスレーダによる氷厚測定、ステークによる涵養量測定、積雪深計による積雪測定、GPS 測量による流動速度測定、ピットワーク、浅層コア (20m) 掘削をおこなった。調査の結果、ドリルサイトの氷厚は約 170m、年涵養量は、水等量で $0.69 \pm 0.05\text{m}$ (2000-01)、流速は約 2.5m per year であった。ピットワーク、浅層コアによる調査の結果、サラメ雪、氷板等の融解の痕跡が見られたが、全体的にはシモザラメ雪が多く、掘削地点が融解の少ないアイスコアの適地であることがわかった。

2003 年 7-8 月に岩盤までの本掘削を実施した。掘削に用いたドリルは、地球工学製山岳ドリルである。このドリルは、ウィンチ、ドリルにおける直流モータの使用、ハーモニック減速機の採用、コアバレルの短縮化ほか、小型軽量化を目的として設計時に工夫を行った。バレル長は 135cm 直径は 9.5cm である。171m の岩盤までの掘削には、8 日間を要した (7/28-8/4、平均約 21m/day)。一回の掘削で得られた平均のコア長は約 55cm。掘削回数は、失敗も含めて 374 回である。当初、バレル長を短くしたため掘削に時間がかかると考えて 2 週間の掘削期間を考えていたが、予想よりも早く掘ることができた。掘削時のトラブルは、おもに掘削テントの気温上昇に起因するもので (最大 +24C)、カッターマウントヘッチャップが付着し、刃がスリップしてしまうことが多かった。171m コアの掘削終了後、48m のコアをもう一本、1 日で掘削した。

密度測定の結果、表面付近 0.4g cm^3 より深くなるに従って上昇し、深さ約 60m で 0.92g cm^3 に達して氷化した。目視観察の結果、岩盤までに四本の茶色い汚れ層が含まれていた。孔内温度測定の結果、平均 -15C、最低温度は深さ 70m の -15.7C であった。コアの年代決定は今後の課題であるが、171m のコアに少なくとも過去 300 年分の記録を含んでいると考えられる。

コアの分析は、今後アメリカと日本で分担して行う予定である。測定項目として、安定同位体比、溶存化学成分、重金属 (以上アメリカ)、層位、粒子密度、花粉、不溶性有機化学成分、微生物 (以上日本) を予定している。

アルタイ山脈ペルーハ氷河におけるアルカン類

三宅隆之¹、中澤文男²、竹内望¹、藤田耕史³、大田啓一⁴、中尾正義¹

1: 総合地球環境学研究所、2: 名古屋大学院理学研究科、3: 名古屋大学院環境学研究科、
4: 滋賀県立大学環境科学部

Alkanes in Belukha Glacier, Russian Altai Mountains

Takayuki Miyake¹, Fumio Nakazawa², Nozomu Takeuchi¹, Koji Fujita³,
Keiichi Ohta⁴ and Masayoshi Nakawo¹

1: Research Institute of Humanity and Nature, 2: Graduate school of Science, Nagoya University, 3: Graduate school of Environmental Studies, Nagoya University, 4: School of Environmental Science, The University of Shiga Prefecture

Alkanes in Belukha Glacier, Russian Altai Mountains, were determined by using a gas chromatograph. Total hydrocarbon (alkanes) concentrations (T-HCs) and CPI (Carbon Preference Index) values of alkanes in ice core and pit samples at Belukha Glacier were in the ranges of 0.52-1.43 ng g⁻¹ and 1.06-1.91, respectively. These values in this glacier were smaller than those ones at Sofiskiy Glacier. In ice core, T-HCs gradually decreased and CPI values sharply increased with the depth. Therefore, it seems that the influence of anthropogenic activity is emphasized at Belukha Glacier within last several years past.

【はじめに】 大気中の様々な化学種の中でも有機化合物は、発生源に関する情報が多く、良い指標となることが知られている。我々は、昨年の本シンポジウムでアルタイ山脈ソフィスキー氷河における炭化水素類（アルカン類、直鎖飽和炭化水素類）の測定結果を報告した（三宅ら、2002）。その後の解析結果とあわせると、ソフィスキー氷河での炭化水素類は、植物や土壌起源の寄与があるものの、それ以外の石油燃焼起源と思われる人為活動に由来する割合も決して少なくないことが分かった。今回、同じアルタイ山脈のペルーハ山氷河のアイスコアおよびピット試料中の炭化水素類（アルカン類）の測定を行ったので、報告する。

【方法】 氷河試料はロシア連邦アルタイ山脈のペルーハ山氷河（49°49'N, 86°34'E, 4100 m）にて 2001 年にアイスコア（約 21 m）、2002 年にピット（約 2.4 m）の各試料を採取した。アイスコアは約 10 cm の各層から約 20 mL ずつ、ピットは各層（2 - 16 cm）から 60~110 mL ずつを数~30 層程度をまとめ、一つの試料とした。測定試料数は、アイスコアが 6 試料、ピットが 3 試料だった。試料の前処理および測定方法は、ほぼ既報（三宅ら、2002）通りである。なおアルカン類のうち、炭素数 21 (C₂₁H₄₄) から炭素数 32 (C₃₂H₆₆) を対象として解析を行った。

【結果と考察】 試料中の全アルカン類濃度（T-HCs, C₂₁~C₃₂ 濃度の総和）は、アイスコアで 0.72~1.43 ng g⁻¹、ピットで 0.52~1.42 ng g⁻¹ だった。ソフィスキー氷河の T-HCs（アイスコア、ピット、新雪試料；0.67~9.86 ng g⁻¹）と比較すると、同程度から 10 分の 1 程度と低かった。また CPI（炭素優先度指数）は、1.06~1.91 とやはりソフィスキー氷河の炭化水素（0.95~3.35）よりも若干低く、石油燃焼起源と言われる CPI=1 に近い値となった。アイスコア試料については、濃度が深さにつれて徐々に減少していた（アイスコア最上層：1.41 ng g⁻¹→最下層 0.72 ng g⁻¹）。CPI はおおむね深さにつれて大きくなる傾向が見られた（1.14→1.54）。これらのことをまとめると、ペルーハ氷河におけるアルカン類は、ソフィスキー氷河に比較して、低濃度だが人為活動の影響がより強く現れ、CPI が 1 に近く、かつ過去 10 年弱程度で徐々に濃度が大きくなっており、人為活動起源の影響が大きくなっていることが示唆された。

三宅隆之、中澤文男、河野美香、植竹淳、鈴木啓助、亀田貴雄、藤井理行、中尾正義、大田啓一（2002）：アルタイ山脈ソフィスキー氷河における炭化水素類、第 25 回極域気水圏シンポジウムプログラム・講演要旨、p.52.

ブータン・ルナナ地方における氷河融解量の推定

鈴木亮平, 上田豊, 坂井亜規子, 松田好弘 (名大・環境学), 内藤望 (広島工大)

山田知充 (北大・低温研), カルマ (ブータン地質調査局)

Estimation on glacier ablation in Lunana region, Bhutan

R.Suzuki, Y.Ageta, A.Sakai, Y.Matsuda(Nagoya Univ.), N.Naito(Hirosima Inst. of Tech.),
T.Yamada(Inst. of Low Temp. Sci., Hokkaido Univ.), Karma(Geological Survey of Bhutan)

Glacier ablation in Lunana region, Bhutan is estimated by means of thermal resistance method developed by Nakawo et al.(1999). The data is derived from Automatic Weather Station (AWS) and ASTER TIR satellite images. It is suggested that the albedo of debris surface much affect the ablation rate in this area. The results of calculation with the observation data in 2002 and 2003 will be reported in the symposium.

はじめに

近年, ブータン・ルナナ地方では氷河の後退が著しい. デブリで覆われた氷河 (D 型氷河) の末端にはモレーンで堰きとめられた氷河湖が拡大し, 氷河湖決壊洪水 (GLOF) の危険性が指摘されている (Ageta et al,2000). 一般に D 型氷河は大型であること, 表面状態が極めて不均一であることから, 現地観測のみで氷河全域に関する質量収支を求めることが困難である. そこで本研究では, Nakawo et al.(1999)の手法をもとに, 同地域における氷河融解速度を推定する.

データと手法

Nakawo et al.(1999)によれば, デブリ下の融解速度はデブリの熱抵抗値と気象データから求められる. デブリの熱抵抗値とはデブリの熱伝導率を厚さで除した値で定義される. ここで熱抵抗値を求めるために次の3つの仮定をおく. ①デブリ下への熱輸送は熱伝導による, ②デブリと氷との境界面の温度は 0°C である, ③デブリ層の鉛直温度分布は線形である. このとき, 熱抵抗値は表面温度とその時のデブリ表面の熱収支によって決定される. 熱抵抗値が一度決定されれば, その後は表面温度を測らないでデブリ表面の熱収支計算を行うことができる. したがって, デブリ下の融解熱量が求められる. さらに, リモートセンシングで表面温度を計れば広域の融解量を推定できることになる.

熱収支計算は 2002 年・2003 年の調査隊によって得られた自動気象観測所 (AWS) データをもとに行った. AWS は標高 4550m 地点のエンドモレーン上に設けられたが, 現段階の解析では, 下向き放射量, 風向, 風速, 湿度は対象領域内で一定とした. アルベドには実測値のデブリ域 0.38, 裸氷域 0.77 を使用し, 気温減率は $6.5^{\circ}\text{Ckm}^{-1}$ とした.

また衛星データには 2002 年 9 月 20 に同期させた ASTER 熱赤外バンドを用いた. 地表面温度は, 輝度温度と実測の地表面温度との関係から求めた.

解析と考察

これまでに得られているデータは 2002 年の 15 日間に限られているが、観測期間中におけるデブリ表面への入射エネルギーは日射に大きく依存していることが分かった。このことから、アルベドの融解量への寄与は大きく、より詳細にアルベドについて分析する必要があるといえる。また Fujita and Sakai(2000)は、気温減率はデブリ上とモレーン上の間で異なることを指摘しているが、当地域においても同様のことが予想される。

これらの点について調べるため、2003 年 9 月～10 月にはデータ回収に合わせて新たに地表面アルベドと気温測定を詳細に行う。また衛星データについては、再度 ASTER の同期観測を予定している。発表ではこれらのデータを用いた解析結果について報告する予定である。



図1 ブータン・ルナナ地方の D 型氷河 (ASTER 1,2,3N)

参考文献

- Ageta Y. et al.(2000): Expansion of glacier lakes in recent decades in the Bhutan Himalayas. Debris-Covered Glaciers (Proceedings of a workshop held at Seattle, Washington, USA, September 2000). IAHS Publ. No. 264, 165-175.
- 坂井亜規子(2001): 岩屑に覆われた氷河の融解過程. 雪氷, 63, 191-200.
- Fujita K. and Sakai A.(2000): Air temperature environment on the debris-covered area of Lirung Glacier, Langtang Valley, Nepal Himalayas. Debris-Covered Glaciers (Proceedings of a workshop held at Seattle, Washington, USA, September 2000). IAHS Publ. No. 264, 83-88.
- Nakawo, M., Yabuki, H. and Sakai, A.(1999): Characteristic of Khumbu Glacier, Nepal Himalaya: recent change in the debris-covered area. Ann. of Glaciol. 28, 118-122.

寒冷氷河における水路の発達と消滅

イセーンコ・イエフゲーニ、成瀬廉二、北海道大学低温科学研究所

On the behavior of a drainage channel in a cold glacier

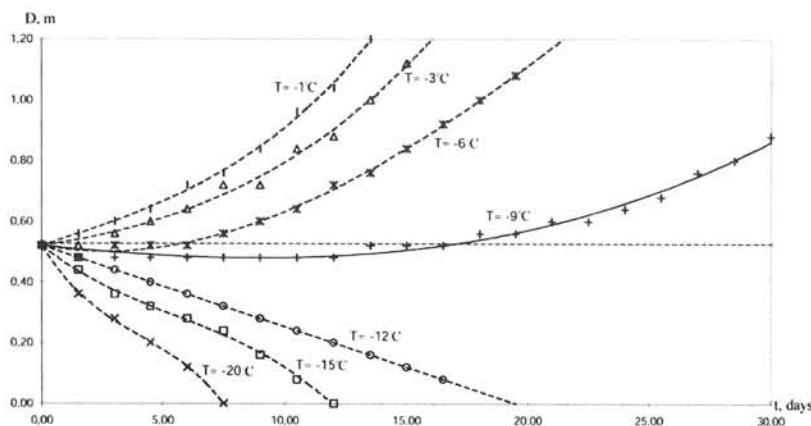
Evgeni ISENKO, Renji NARUSE

Hokkaido University, Institute of Low Temperature Science

Abstract. During the ablation season in cold glacial regions, one can observe on glaciers mainly surface water streams. Intraglacial channels are very rare and can probably exist only under some particular conditions. Using a 2-dimentional cross-sectional numerical model, we tried to find out freezing/melting rates and times needed for complete freezing of a channel. With the help of the model the ice temperature distribution around the channel and the water flow energy dissipation inside it were calculated. The correlation between these two parameters defines the ice melting/freezing rate that, along with the rate of the ice creep, allows defining the change of the channel form. Water flow discharge oscillations were also taken into account. It was shown that diurnal oscillations of water flow cause a channel to freeze off quicker. In other words, channels with constant water flow discharge can exist in a colder condition.

極地の氷河で、氷の温度が表面や底面を除いて一年中氷点下にある寒冷氷河においても、夏期には表面の融解水が氷河内部に浸透し内部水路を形成し、特別な条件下では、氷河底面や末端に流出することが理論的に予想されている。本研究では、内部水路の存在可否を決める条件を明らかにするために数値実験を行った。その結果、水路が拡大していくか凍結していくかを決定する条件は、流量の変動によることが分かった。

水路の変化を知るために、氷壁の融解・凍結の速度と方向、および圧縮速度を計算する。そのために、コンピューター・プログラムとして二次元数値モデルを作った。そのプログラムによって、水路断面の周囲の氷温分布と水中発熱分布が計算される。その氷への熱と水中発熱との割合と氷の圧縮歪速度が分かれば、水路の変化も分かる。



異なった初期氷温の下での円形的水路の変化。実線は臨界温度に近い初期氷温(-9°C)に相当する。(氷圧縮と流量変動無視)

水路の初期直径を固定して初期氷温を変化させてみると、図のような結果が得られる。初期氷温が氷点に近いと、水路がだんだん拡大する。氷が冷たいと、水路が凍結してしまう（図の例：初期氷温 $T = -12^{\circ}\text{C}$ 、閉水路の初期直径 0.5 m の場合、20 日後、水路が凍結してなくなる）。水路がほとんど変化しない場合の初期氷温を臨界温度と呼ぶ。同じように、水路の周囲の初期氷温を固定して、臨界直径を決めることができる。極地などの寒い地域では、水路が残存するためには、その臨界直径に相当するかなり高い流量が必要であることが分かった。

北極域における新積雪密度の特性

梶川正弘 (秋田大)・金谷晃誠 (第一建設工業)・菊地勝弘 (秋田県立大)

・遊馬芳雄 (北大院・理)・佐藤 昇 (大阪府教育センター)

Characteristics of new snow density in the Arctic region

M. Kajikawa (Akita University), K. Kanaya (Daiichi Kensetsu Co.), K. Kikuchi (Akita Prefectural University), Y. Asuma (Graduate School of Science, Hokkaido University,) and N. Sato (Science

Education Institute of Osaka Prefecture)

New snow density in various shapes of crystals was observed in the mid-winter season of the Arctic region (Kiruna, Sweden and Sodankylä, Finland). In view of the predominant component crystals of snowflakes, the larger the snowfall intensity the larger the new snow density is. The new snow density can be expressed as a power law of the snowfall intensity for every predominant component of snowflakes.

1. はじめに

新積雪密度は積雪モデルの初期条件を決める重要な物理量の一つである。中緯度での観測によると、降雪時平均の風速や気温よりも雪片を構成する結晶形や平均降水強度との相関が強い。ここでは、スウェーデンのキルナ(1997年12月～翌年1月)とフィンランドのソダンキラ(2002年1月と2003年1月)における新積雪密度の観測結果を報告する。

新積雪密度は長方形の容器(22.5×31cm)に降雪を受け、深さと質量を測定して求めた。降雪採集時間は30分から6時間程度(大部分は3時間以下)で、降雪の深さは0.5~3cm程度(6割が1~1.5cm)であった。

2. 結果

目視で降雪に最も多く含まれる一般分類法による結晶形(卓越結晶形)毎に、新積雪密度 ρ と降雪強度 R との関係を図1に示す。放射樹枝を主体とする立体樹枝の密度が最も小さく、雲粒付の交差角板と砲弾集合から成る不規則が最も大きい。

北極域では立体樹枝、雲粒付立体樹枝、樹枝、雲粒付樹枝の順に密度が大きくなるが、秋田八幡平では立体樹枝、樹枝、雲粒付樹枝、雲粒付立体樹枝の順である。両地域で雲粒付着程度が異なること、北極域では霰混入が少ないことなどが影響している。 $\rho = aR^b$ 形式の回帰式における決定係数は、全ての卓越結晶形で八幡平の結果より大きい。これは北極域では採集時間内での結晶形の変化が少なく、一般分類のレベルでは異なる結晶形の混在度も小さいことが一因である。

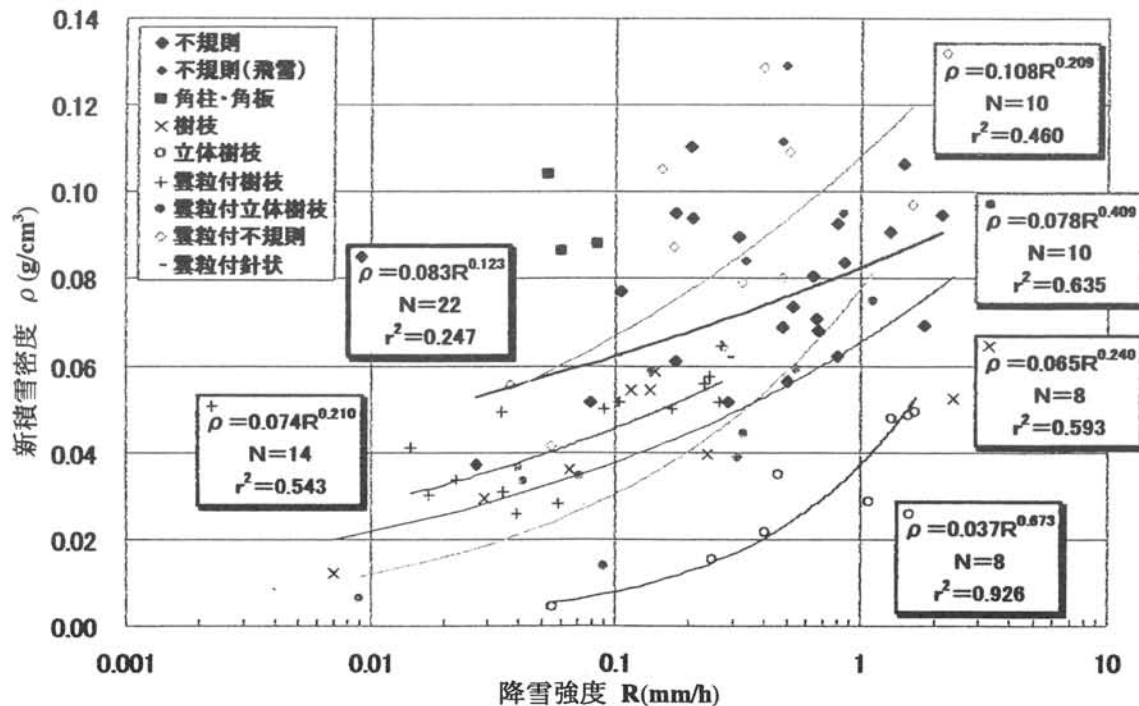


図1 北極域における新積雪密度 ρ (g/cm³) と降雪強度 R (mm/h) との関係

II.1

ドームふじコアのダストフラックスと発現域面積の変化から推定した過去15万年の風速の復元

藤井理行、渡邊興亜、河野美香（極地研）、的場澄人（環境研）、鈴木利孝（山形大理）

Reconstruction of wind speed during past 150 k-years on the bases of dust flux obtained from Dome F ice core

Y. Fujii, O. Watanabe, M. Kohno (NIPR), S. Matoba (NIES), and T. Suzuki (Yamagata Univ.)

Abstract: On the bases of dust flux obtained by the analysis of dust in an ice core from Dome Fuji, Antarctica and dust source area estimated by sea level lowering during past 150 k-years, wind speed was reconstructed. Particularly, stormy conditions during stadials of the last glacial and calm conditions during the last inter-glacial and the last termination from last glacial to holocene were clarified.

要旨：ドームふじ深層コア解析によるダスト濃度と積雪涵養量からダストフラックス変化を求めた。また、海面変化から求めた大陸棚露出面積の変化、すなわち南極へのダスト発現域変化とダストフラックスを比較した（Fig.1）。ダストフラックスが、風速の三乗と発現域面積とに比例すると仮定し、過去15万年間の風速の変化を復元した。その結果、最終氷期の亜氷期は風速が最大1.5倍程度まで増大していたこと、最終間氷期と最終氷期-完新世移行期は風速が弱かったことが明らかになった（Fig.2）。

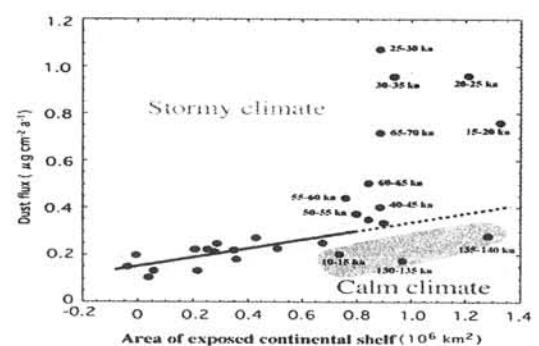


Fig.1 Dust flux vs dust source area.

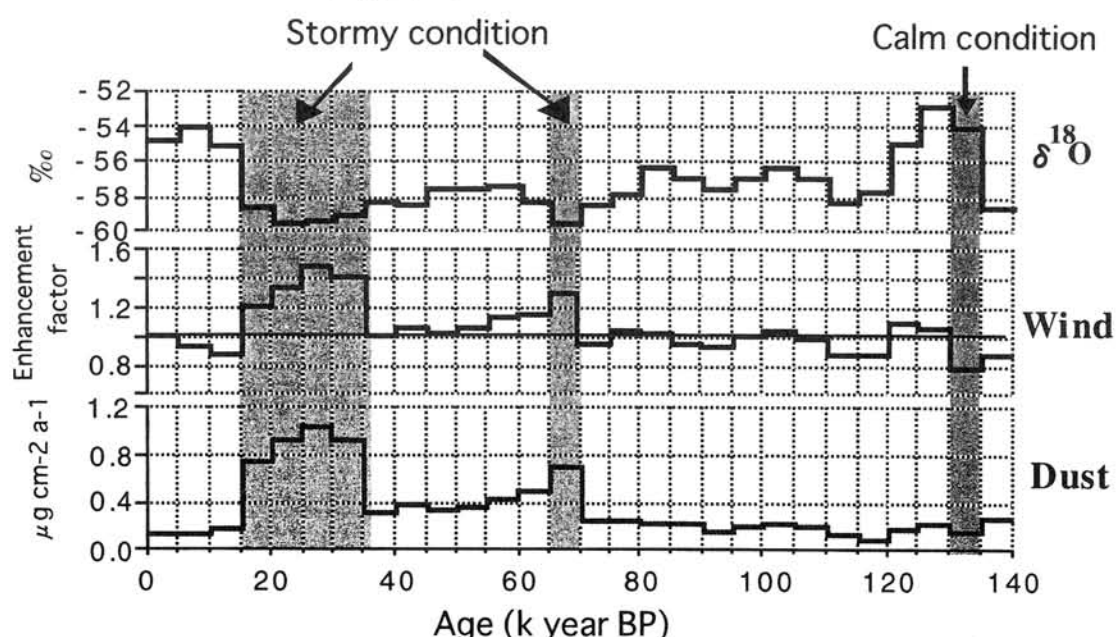


Fig.2 $\delta^{18}\text{O}$ (top), dust flux (bottom) and reconstructed wind speed during past 150 k years.

II. 2

次世代型氷床内部探査システムに関する基礎的研究 ～氷融解式掘進装置開発のための基礎的な熱計算～

須藤祐子・齋藤聡輔・高橋弘（東北大院・環境科学研究科）、
本山秀明・藤井理行（国立極地研究所）、田中洋一（株式会社ジオシステムズ）

Fundamental study on a next generation type drilling exploration system for glacier ice - Fundamental thermal calculation for a development of the electric thermal drilling device -

Yuko Suto, Sosuke Saito, Hiroshi Takahashi (Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University),
Hideaki Motoyama, Yoshiyuki Fujii (National Institute of Polar Research), Yoichi Tanaka (Geosystems Corp.)

Abstract: Electric thermal drilling device is proposed as a next generation type drilling system for glacier ice. The new type of drilling system is expected to take shorter time and smaller cost to obtain analysis data. To develop the melting-drilling device, it is essential to investigate how electric power is needed to melt ice and prevent melt water to re-freeze. In this study some calculations were performed under limited conditions. It was assumed that a 150mm diameter, 1m length of sonde and a 8mm diameter of cable were used. A linear temperature profile that was -60°C at ice surface and 0°C at depth 3000m was assumed. According to our simple calculation, it is suggested that the cable needs enormous electric power to keep melt water between ice and the cable rather than the sonde needs.

1. はじめに

現在の氷床内部の直接的探査は、氷床をボーリングして氷のコアを連続的に採取し、これを分析することにより行われている。氷床コア採取法は、実際にサンプルを観察できる利点があるため、今後も重要な氷床内部調査方法の一つであるが、一方で、①掘削装置が大規模になる、②時間と費用がかかる、③分析に時間がかかる、などの理由から、氷床データを取得するまでに莫大な時間と費用がかかるという短所がある。そこで、これらの短所を補うために、図1のような、氷を融解しながら掘進して融解水を装置内部に採り込んで直ちに自動分析する「次世代型氷床探査システム」を提案する。本研究では、融解式掘進装置を開発するための初期段階として、氷融解および融解水の再凍結防止のために必要な電力と目的深度到達までに要する時間を計算した。

2. 計算の概要

融解式掘進装置は、外壁にヒーターを内蔵したゾンデをケーブルで吊るし、地上からケーブルを通じてゾンデ外壁のヒーターに電力を供給して、ヒーターの熱によって氷床を融解しながら掘進しようとするものである（図1）。今回の計算では、厚さ10mmのSUS製外壁を持った外径150mm、長さ1mの円柱形のゾンデを想定した。氷の融解には主にゾンデ底面のヒーターが使われるが、まず融解水の再凍結防止に必要なゾンデ側面への必要電力を計算し、ゾンデへの供給電力からその分を差し引いた電力をゾンデ底面へ供給できるとして融解掘進速度を計算した。さらに、ケーブルについても融解水の再凍結防止のために必要な電力を別途計算した。なお、本計算では熱損失は無いものとし供給電力は全て発熱に使われるとした。氷床の深度方向の温度プロファイルは、氷床表面で -60°C 、深度3000mで 0°C となる線形分布を仮定した。この温度範囲では、氷の熱伝導率 k 、密度 ρ および比熱 c は、絶対温度 T の関数として次式で表される（熱物性ハンドブック, 1990）。本計算では、これら3式を適宜利用した。

$$k [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})] = 7.549 - 2.894 \times 10^{-2} \cdot T + 3.454 \times 10^{-5} \cdot T^2$$

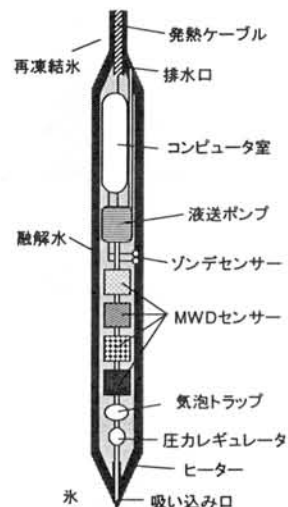


図1. 次世代型氷床内部探査ゾンデ概念図

$$\rho [\text{kg/m}^3] = 917 (1.032 - 1.17 \times 10^{-4} \cdot T)$$

$$c [\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})] = 0.185 + 0.689 \times 10^{-2} \cdot T$$

3. ゾンデへの供給電力と掘進速度

本計算で考慮したゾンデと氷の同心円柱の断面模式図を図2に示す。ゾンデ側面から周囲の氷への伝熱は、①ゾンデ外壁中の熱伝導、②外壁から融解水への熱伝達、③融解水中の熱伝導、④融解水から氷への熱伝達、⑤氷中の熱伝導で表される。②と④の熱伝達係数については、固体から静止している水に対する熱伝達係数と同程度と仮定して $300 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ を用いた。⑤では、坑壁から $L_3 = 5 \text{ m}$ 離れれば熱の影響を受けなくなるとした。ここでは、ゾンデ側面に最低限必要な電力を知るために、最も厳しい条件である氷床表面の -60°C の場合を考えた。融解水層の厚さを $L_2 = 10 \text{ mm}$ と見積もると、融解水を $T_3 = 1.7^\circ\text{C}$ 、ゾンデ外壁内面を $T_1 = 4.0^\circ\text{C}$ に保つ必要があり、ゾンデ側面に必要な熱量は 270 W と算出された。

ゾンデ底面にはゾンデへの供給電力から側面で必要な 270 W を引いた電力が供給されるとし、底面に供給される電力を全て氷の昇温と融解に使用すると考えた。この過程では、氷を 0°C まで昇温してから 0°C の氷を 0°C の水に融解するための熱量が必要である。単位時間あたりに融解できる直径 150 mm の氷柱の高さを融解掘進速度とした。単位時間ごとの開始深度における温度および熱物性値を、 0°C までの昇温に必要な熱量計算に用いた。図3に計算から得たドリリングチャートを示す。深度に伴い氷の温度が高くなるので掘進速度が若干増加し、チャートは緩い曲線になった。図3から、20, 15, 10, 5 kW をゾンデに供給できる場合、それぞれ深度 3000 m までの掘削に11, 15, 23, 45日間かかることがわかった。

4. ケーブルに要する熱量

ケーブルから周囲の氷への伝熱計算方法はゾンデ側面の場合とほぼ同じである（図2において外壁が無い場合に相当する）。最も厳しい条件は、目的深度到達直前に 3000 m にわたって融解水を保持する場合である。融解水と氷の境界から $L_3 = 1 \sim 5 \text{ m}$ 離れた位置の氷の温度には、深度とともに変化する $-60 \sim 0^\circ\text{C}$ の温度を用いて計算すべきだが、今回は簡単に平均を取って -30°C を仮定した。ケーブル径を 8 mm とし、融解水の層の厚さを $L_2 = 10 \text{ mm}$ と見積もると、融解水を $T_3 = 3.1 \sim 4.3^\circ\text{C}$ 、ケーブル表面を $T_2 = 14 \sim 19^\circ\text{C}$ に保つ必要があり、ケーブルに必要な熱量は $250 \sim 340 \text{ kW}$ と算出された。これはゾンデに必要な熱量と比較して10倍にもなり、ゾンデよりもむしろケーブルへの電力供給が重要課題であるといえる。また、距離 L_3 が小さいほど必要な電力が大きくなるので、たかだか長さ 1 m のゾンデでは L_3 の影響をあまり受けないが、 3000 m にもなるケーブルに関しては L_3 を正確に見積もることが重要である。今回は $L_3 = 1 \sim 5 \text{ m}$ と仮定したが、今後実験的に求めていく必要があるだろう。

算出された $250 \sim 340 \text{ kW}$ を得るためには発電機が多数必要になるが、それが可能であれば掘進速度は図3に示したものと同じである。しかし、発電機の数が増えれば、 3000 m にわたって融解水を保持しながら掘進することは不可能で、方法を工夫する必要がある。

5. おわりに

非常に制限された条件下の計算ではあったものの、今回の計算結果は、最も良い条件で融解掘進が行われた場合の掘進速度や掘進日数の目安になると考えられる。今後、熱計算に必要なパラメータを得るための実験等も行い、伝熱-融解のモデルを構築していきたい。

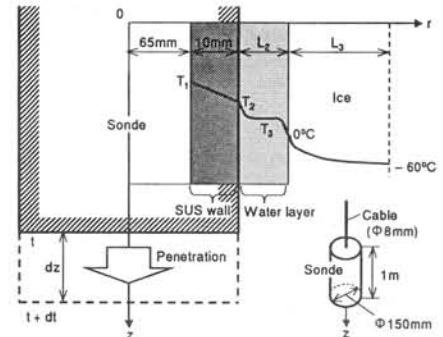


図2. ゾンデ-氷の同心円柱断面模式図

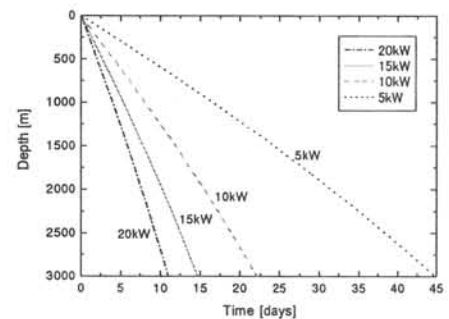


図3. 3000mの融解掘進に必要な日数

Air Bubble-to-Air Hydrate Conversion in Antarctic Ice Sheet

Yu.A. Sheshukova¹, H. Ohno², V.Ya. Lipenkov³, A.N. Salamatina¹, T. Hondoh²

¹*Kazan State University, Kazan 420008, Russia*

²*Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, Sapporo 060-0819, Japan*

³*Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg 199037, Russia*

Bubbles of atmospheric air trapped in polar ice at pore close-off transform in deeper ice layers to mixed air clathrate hydrates. Our study is aimed at modeling the detailed evolution of the air-bubble ensemble during its conversion to clathrate crystals in the transition zones of ice sheets. General mathematical description of this phenomenon is based on the classical population-balance equation for the bubble-size distribution function and the mass balance equations of nitrogen and oxygen for single (reference) bubbles including the diffusion fluxes between the coexisting bubbles and hydrates through the ice matrix. The probability (rate) of hydrate nucleation is assumed to be nonlinearly dependent on the relative supersaturation raised to power β and inversely proportional to the λ -power of the bubble radius. Two possible hydrate-formation regimes I and II can be theoretically distinguished for $\lambda > 2$ and $\lambda < 2$, respectively, when (I) each bubble transforms to one hydrate inclusion or (II) some fraction of smaller bubbles completely disappears due to the outflow of their gas toward the coexisting hydrates while a certain number of hydrate crystals may nucleate outside the bubbles in the ice matrix saturated with air. A numerical algorithm and an interactive computer system are developed to simulate the process of the air bubble-to-hydrate conversion. For both scenarios, the model is constrained by and evaluated on the ice-core data from Vostok and Dome Fuji Stations (Central East Antarctica) where detailed bubble-size distribution histograms as well as bubble and hydrate number concentrations, mean radii, and gas compositions were measured in the transition zones.

In the "one-bubble-to-one-hydrate" transformation regime the total number of air inclusions remains constant. This case is characterized by relatively high best-fit bubble-size kinetic index $\lambda \sim 5$ which totally controls the clathrate crystal nucleation and the degree of preferential conversion of smaller bubbles to hydrates with a critical (minimum) radius of existing bubbles ~ 0.01 mm in full agreement with earlier observations by V.Ya. Lipenkov. In the combined regime II the inferred index $\lambda \sim 0.3-0.9$ without any lower limit for the bubble size. The diffusive expiration of about 25-50% of bubbles is, in accordance with experimental findings by H. Ohno, accompanied and partially counterbalanced by nucleation of 19-24% of new air-hydrate crystals in the ice matrix with initial radii ~ 0.005 mm. For both regimes the supersaturation index $\beta \sim 1.6-1.8$, and the ranges of the respective permeation coefficients of oxygen and nitrogen at 220 K are $D_{O_2} \sim 3.0-6.4 \cdot 10^{-8} \text{ mm}^2 \cdot \text{yr}^{-1}$ and $D_{N_2} \sim 1.0-2.1 \cdot 10^{-8} \text{ mm}^2 \cdot \text{yr}^{-1}$. In general, all results of computations are in close agreement with the experimental bubble-size distributions and the depth profiles of measured mean bubble and hydrate ensemble characteristics. Although the bubble-size distributions simulated for regime II have unrealistic (distinguishably longer) left-side tails extending to the zero-radius bound, the fitted nucleation rate constant in this case becomes one order greater and together with relatively low λ -values compares better to laboratory experiments by T. Ikeda and others (1993). Further theoretical and experimental investigations of the conversion of air bubbles to hydrate crystals in ice sheets will be focused on the formation and evolution of the hydrate statistical ensemble.

Average Time Scale for Dome Fuji Ice Core, East Antarctica

E.A. Tsyganova¹, A.N. Salamatin¹, V.Ya. Lipenkov², T. Hondoh³¹Kazan State University, Kazan 420008, Russia²Arctic and Antarctic Research Institute, St.Petersburg 199397, Russia³Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, Sapporo 060-0819, Japan

There is no universal and/or standard procedure to determine age-depth relationships in polar ice sheets at sites of deep drilling. In particular, ice-age dating is one of the principal steps in ice-core data interpretation at Dome Fuji Station (Dome F). In continuation of the companion paper by Hondoh and others (2002), this study employs three sources of chronological information of different origins to develop an average time scale for Dome-F ice core.

Firstly, the geophysical metronome time scale (GMTS) directly results from correlation of the smoothed 2500-meter Dome-F isotope record with the geophysical metronome (Milankovich cycles of the surface temperature variations) inferred from the deep borehole temperature profile at Vostok Station. GMTS is the linear interpolation between the correlation pairs – ages and depths of the respective climatic events (peaks and troughs) in the metronomic and isotopic signals. It represents the so-called orbitally tuned chronologies. Secondly, another directly dated paleotemperature-proxy $\delta^{18}\text{O}$ -signal is available from the calcite core in Devils Hole (DH), Nevada. The extrema in a parabolic spline approximation of the Dome-F $\delta^{18}\text{O}$ -depth curve are identified with the corresponding maximums and minimums discerned in the smoothed DH signal to import the independent DH-core chronology (DHFTS). Thirdly, the above age-depth correlations, not being free from their own specific errors, yet, can be considered as reliable *a priori* chronological information to constrain accumulation rate reconstruction (deuterium/inversion temperature slope C_T) and ice-sheet flow model parameters (temperature-modified creep index β). The inverse Monte Carlo sampling procedure is used to find the best-fit (glaciological) time scale matched with the two other time scales. For the present-day range of the ice accumulation rates (3.2–3.5 cm yr⁻¹) at Dome F, the following estimates are inferred: $C_T = 5.4 \pm 0.5 \text{ ‰ } ^\circ\text{C}^{-1}$ and $\beta = 3.2 \pm 0.3$. The best-fit value $C_T = 6.1 \text{ ‰ } ^\circ\text{C}^{-1}$ is deduced at the lower bound of the accumulation rate. The minimum standard deviation (SD) of the simulated age-depth relationship from GMTS and DHFTS is about 5.1 ± 0.3 kyr and includes inevitable short-term perturbations (errors) which are the attributes of the model and its input uncertainties. Whatever the causes of this discrepancy might be, they are thought to be of different origins, and the age errors of all three chronologies are assumed statistically independent.

To achieve higher accuracy, the running weighted mean ages are calculated with the weights inversely proportional to the SD of each of the three basic time scales from the average one. The resulting age-depth relationship for the Dome F ice core down to a depth of 2500 m is consistent with all dating procedures within the overall SD limits of ± 3.3 kyr, deviating separately from the glaciological time scale, GMTS, and DHFTS by 1.4, 2.4, and 5.3 kyr, respectively. Finally, if the difference in the quality of the basic time scales is taken into account, the actual accuracy of the average time scale can be assumed ~ 1.5 kyr. The ice age at 2500 m is 335 ± 1 kyr. The constrained ice-sheet flow model allows to extrapolate the average ice age-depth curve to the glacier bottom and predicts the ages at depths of 2800, 3000, and 3050 m to be 664 ± 21 , 2000 ± 93 , and 4330 ± 225 kyr, respectively.

II . 5 On the structure and gas composition of deformed basal ice from a cold polar glacier

SAMYN Denis,

Département des Sciences de la Terre et de l'Environnement,
Université Libre de Bruxelles, CP 160/03,
B-1050 Brussels, Belgium

FITZSIMONS Sean J.,

Department of Geography,
University of Otago, P.O. Box 56,
Dunedin, New Zealand

LORRAIN Reginald D.

Département des Sciences de la Terre et de l'Environnement,
Université Libre de Bruxelles, CP 160/03,
B-1050 Brussels, Belgium

By focusing on the structural properties and the gas composition of basal ice from the margin of a cold Antarctic glacier flowing into one of the Dry Valleys of McMurdo, this paper examines the way physical and chemical characteristics of a basal ice sequence are affected by ductile deformation. This kind of approach, which takes into account not only the visual characteristics of the studied ice but also some of its compositional and structural properties, provides a useful framework for making genetic inferences about subglacial conditions.

In order to understand the subglacial environment as part of the whole glacier system, there is a need to gain insight into the active glaciotectonic phenomena. In this perspective, tunnels in glaciers offer unique opportunities for examining the processes operating in basal ice. A 20-meter long subglacial tunnel has been excavated from the left margin of Taylor Glacier (Taylor Valley). At the end of this tunnel, where the ice temperature is about -17°C , some clean ice as well as some debris-laden ice layers were observed and sampled in the basal ice sequence. Deformation microstructures were common. In the debris-laden ice bands, these microstructures consisted in pressure shadows, asymmetric δ -shaped fabrics around rigid rock clasts and mud clots, while they consisted in bubbles elongated parallel to the main stratification in the clean ice layers. In the contact zones with the debris-laden ice bands, high-resolution gas and structural analyses showed strong and sharp changes in the gas content as well as in the physical properties of the clean ice layers. The subfreezing temperature and some geomorphological evidences typical of a cold-based regime indicate that liquid water at the sampling site can only occur in the form of thin films which, we think, play a significant role in the post-formational evolution of the gas composition of basal ice.

We finally argue that tectonic deformation, which is one of the most effective mechanisms for cold-based glaciers to accommodate for the large stresses occurring at their base, occurs at a variety of scales in such glaciers. If stress and strain rates are strong enough, glaciotectonic processes are furthermore likely to cause significant changes in the chemical and physical properties of such glaciers, especially in their basal part.

ベルーハ氷河における花粉を指標とした季節別堆積量の復元

中澤文男（名大）・藤田耕史（名大）・竹内望（地球研）・植竹淳（東工大）・
Vladimir Aizen（アイダホ大）・中尾正義（地球研）

Reconstruction of seasonal deposition record by using pollen on Belukha Glacier, Russian Altai Mountains

F. Nakazawa (Nagoya university), K. Fujita (Nagoya university), N. Takeuchi (Research
Institute for Humanity and Nature), J. Uetake (Tokyo Institute of Technology), V. Aizen
(University of Idaho, Moscow) and M. Nakawo (Research Institute for Humanity and Nature)

Ice cores obtained from mid/low latitude glaciers contain enough pollen grains for analysis. Pollen grains are scattered and deposited on glacier surfaces in different seasons depending on pollen species. Therefore, pollen seems to be a good marker of seasonal layers as well as annual layers. It implies that pollen can be used for ice core dating, and thus ice core analysis allows us to reconstruct seasonal fluctuations of past environmental history. The present study aims at examining the potential use of the pollen analysis in ice core studies.

An automatic snow depth gauge and five stakes were installed on accumulation area of Belukha Glacier (49° 48' N, 86° 32' E; 4100 m a.s.l.), Russian Altai Mountains in July 2001. Snow samples were obtained from a 2.42 m deep pit at the same site in July next year, and subjected to pollen analysis. The seasonal deposition record reconstructed from the pollen profiles shows good agreement with the record observed by the snow depth measurement.

1.はじめに

極域の氷河・氷床に比べ植生からの距離が近い中低緯度の氷河においては、氷コア解析で、試料に含まれる花粉が年層境界の指標として利用できる。さらに花粉は種によって飛散時期が異なるため、種類の異なる花粉を同定することで季節の境界についても決定できる可能性があり、このことは氷コア解析から古環境の季節性（季節別）の情報についても得られることを意味する。

本研究ではこの可能性を検討するために、氷河上に積雪深計を設置し積雪表面レベルの時間変化を測定するとともに、その翌年には同地点でピット観測をおこない花粉層序を求め、両者から見積もられる季節別堆積量について比較をおこなった。

2.試料および分析方法

ロシア、アルタイ山脈に位置するベルーハ氷河の涵養域（49° 48' N, 86° 32' E ; 4100m a.s.l.）において 2001 年 7 月に積雪深計とステークを設置した。また、翌年の 7 月には同地点で

2.42m深のピット観測をおこない雪氷試料を採取した。2001年の観測では同時に21m深の氷コアも採取しており、コア試料に含まれる主要な花粉は、カバノキ科、マツ科、ヨモギ属であることが花粉分析から確認された。カバノキ科は春先、マツ科は5～7月頃、ヨモギ属は9月頃に飛散する花粉である。本研究では、ピット試料に含まれるこれらの花粉を季節の指標とし、各層が堆積した季節を推定した。

3. 結果および考察

積雪深計で測定された積雪表面レベルの時間変化を図1に示す。装置の異常により2001年7月18日～10月27日までの記録しか得られなかったものの、9月の半ばから削剥によると考えられる積雪表面レベルの低下が観測された。この削剥により、10月27日の表面レベルは8月上旬のレベルまで低下した。また、4地点のステーク測量から、2001年7月～2002年7月の堆積量は2.13～2.39m（平均：2.26m）であったことが確認された。これらのことから、10月27日以降、翌年7月までに約1.9mの積雪表面レベルの上昇があったことになる。

次にピットの花粉末層序を図2に示す。マツ科花粉のプロファイルから見積もられる2001年～2002年の堆積量は 2.05 ± 0.07 mであり、ステーク観測とほぼ一致する。さらに、この年の堆積からは秋に飛散するヨモギ属花粉のピークが検出されなかった。これは、削剥によって秋の層が失われたことによると考えられる。花粉層序から削剥による欠層の境界を見積もるならば、2000年の堆積でマツ科花粉が最後に検出された 1.81 ± 0.03 m深がその境界となり、この値は積雪深計およびステーク観測から見積もられる10月27日以降の積雪表面レベルの上昇（約1.9m）とほぼ一致する。以上のことから、花粉層序から見積もられる堆積量の変化は観測値と良く一致していると言える。

そこで、データの取得が出来なくなった10月27日以降の堆積についてその変化を考察すると、カバノキ科の花粉が出現するのは1.37m深で、晩冬の堆積はまだこのレベルであったと考えられる。そして、カバノキ科花粉の飛散がピークを迎える春先に約1m深まで堆積が進み、残り1mの堆積はおそらく5～7月に生じたと考えられる。上記のことから、中低緯度の氷コア解析では花粉を指標として年層のみならず季節層についても決定でき、古環境の季節性（季節別）の変動についても復元できる可能性が示唆されたと言える。

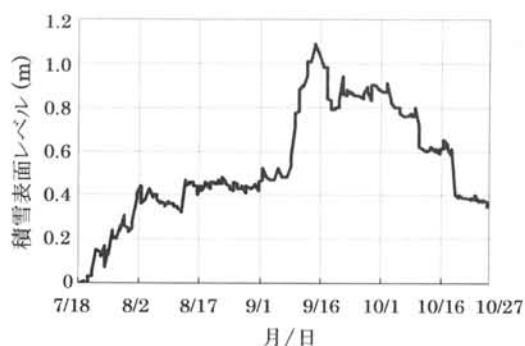


図1 積雪表面レベルの変化

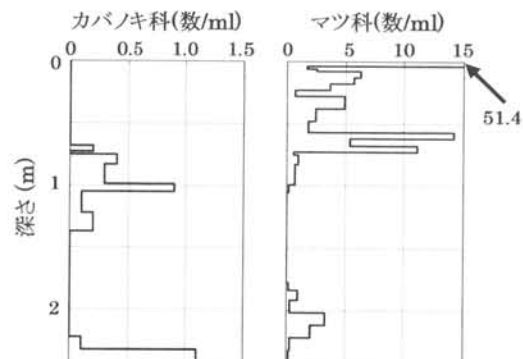


図2 2.42m深ピットの花粉末層序

アイスウェッジ形成についての考察

吉岡美紀、伊藤 一（国立極地研究所）

Investigation of Ice Wedge Formation

Miki YOSHIOKA, Hajime ITO (National Institute of Polar Research)

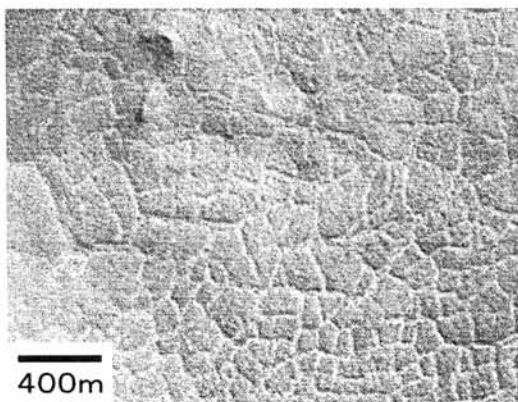
A peculiar landform was found in the image of the Mars surface obtained by Mars Global Surveyor, which looks like the ice wedge polygon on the Earth. The authors intend to investigate the possibility to form an ice wedge polygon on the Mars. The formation process of the ice wedge polygon on the Earth is discussed in mechanical aspect in this study.

Mars Global Surveyor は火星の地形図を作製するために火星周回軌道を巡りながら観測を続けている。取得した火星表面画像には、地球のアイスウェッジポリゴンに、外見上、よく似た地形が見られる。著者らはこれが地球の高緯度地域で見られるアイスウェッジポリゴンと同じものであり得るかどうかを検討している。地球上でアイスウェッジポリゴンが形成されるために必要と考えられている条件を整理した。

現在提唱されている仮説によると、アイスウェッジポリゴンは次の過程により、形成される。

- 1 凍結した大地が、さらなる温度低下により収縮しようとする。生じた温度応力が地盤の引っ張り強度を越えると割れ目が発生する。
- 2 割れ目には、春先、表面が融解する際に生じた液体の水が浸入し、凍結する。割れ目の隙間は氷で満たされる。
- 3 氷は凍土よりも強度が小さいため、翌年以降の冬季温度低下による割れ目は、凍土ではなく、氷の部分に再出現する。
- 4 以下「2」へ戻り、プロセスが繰り返される。割れ目内の氷の体積は徐々に増加する。長期間経過すれば、現在見られるようなアイスウェッジに成長する。
- 5 複数のアイスウェッジが互いに交差するような位置関係に発達すると、表面から見れば、多角形を構成する。これがアイスウェッジポリゴンである。

この仮説には、力学的な見地から検討すると、いくつか疑問に感じる部分がある。まず、仮説の各ステップを再検討することから、研究に着手した。



火星表面の多角形模様
MOC2-150 NASA/MSSS



地球のアイスウェッジポリゴン
The frozen earth,
P.J. Williams and M.W. Smith, 1989 より

アラスカ、バローにおける降雪粒子落下速度の測定

佐藤研吾 高橋修平(北見工業大学) 杉浦幸之助(地球フロンティア研究システム)

大畑哲夫(地球フロンティア研究システム/北海道大学低温科学研究所)

Measurements of falling velocity of snow particles at Barrow, Alaska

Kengo.Sato, Shuhei.Takahashi(Kitami Inst.Tech), Kounosuke.Sugiura(FORSGC),

Tetsuo.Ohata(FORSGC/ILTS, Hokkaido University)

Abstract

A falling velocity of snow particles and they're diameter were measured at Barrow, Alaska. Falling velocity was measured from time lag between two infrared sensors and its diameter was measured from diminution infrared. There are two patems of correction between falling velocity and diameter, passing and negative cases.

・観測背景

雪粒子の終端落下速度は、乱流拡散理論を用いて、地気輸送量、降雪量にも関係する重要な要素である。しかし、このような高精度での終端落下速度の観測例は少ないので、アラスカ州Barrowにおいて観測を行った終端落下速度と粒径の観測結果を示す。

・観測方法

2002年11月10日から12月7日にかけて、アラスカ州Barrowにおいて自然降雪粒子の終端落下速度と粒径の観測を行った。観測では、高さ約180cm、直径8mmの筒状降雪粒子を導き、終端速度を計る雪粒子を間隔20mmの2つの赤外線センサーを通過させ、その通過時間より落下速度、赤外線センサーの遮蔽率によって粒径を求めた。センサーの速度精度は終端落下速度が0.05(m/s)~5.0(m/s)、粒径が0.25mm~5.0mmである。

・観測結果

1時間毎の捕捉粒子数、平均終端落下速度、平均粒径を図2に示す。観測期間中の捕捉粒子数は43000個、1時間毎の数値から1600個のデータを抽出した。終端落下速度は全データ平均が0.54(m/s)、毎時間平均は0.3から2(m/s)、粒径の全データ平均は0.46(mm)、毎時間平均は0.3から0.9(mm)であった。

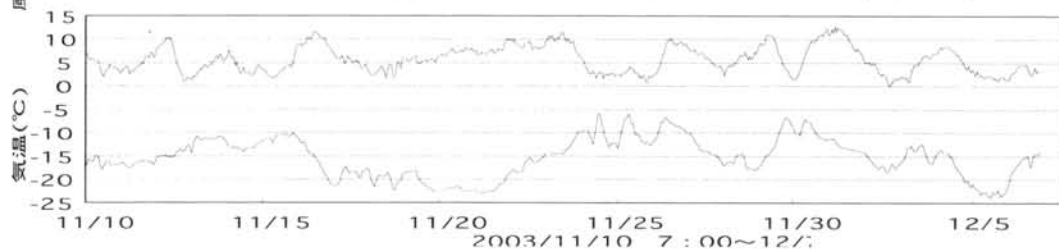


図1 風速と気温の時系列

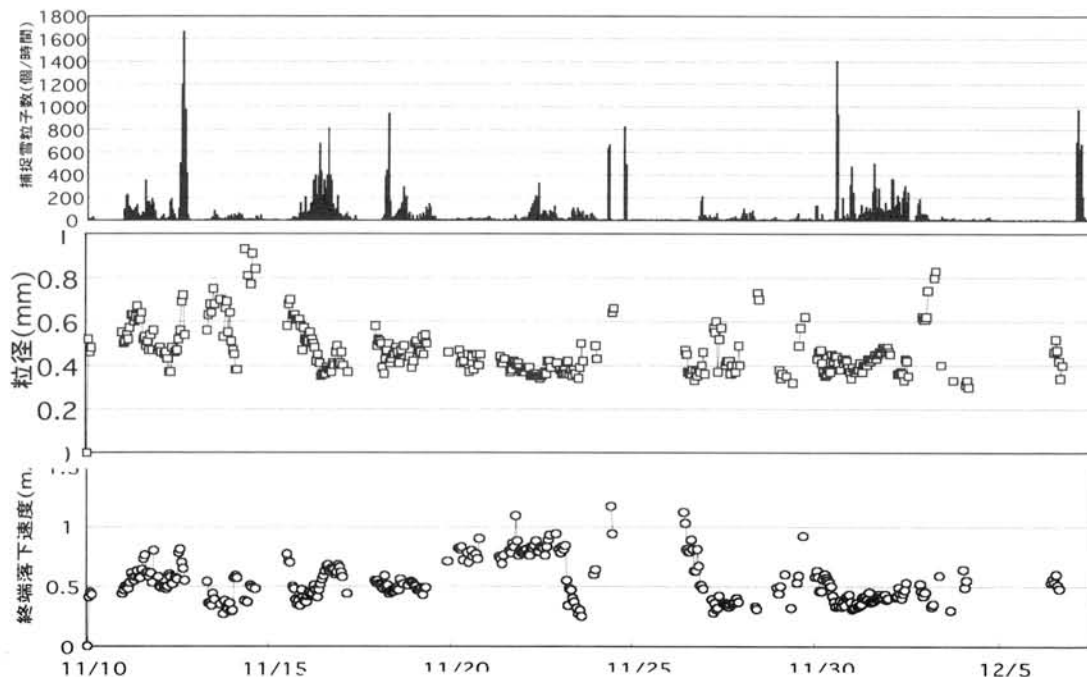


図2 捕捉粒子数、粒径、終端落下速度の時系列

2003 年アラスカ・マッコール氷河雪氷調査報告(2)

五十嵐誠、藤井理行（極地研）、瀬川高弘（東工大）、高橋修平（北見工大）、
Frank Pattyn（ブリュッセル自由大学）、Matt Nolan（アラスカ大学フェアバンクス校）

Glaciological observations on McCall glacier, Alaska, in 2003 (2)

M. Igarashi, Y. Fujii (NIPR), T. Segawa (Tokyo Inst. Tech.), S. Takahashi (Kitami Inst. Tech.),
F. Pattyn (Vrije Univ. Brussel) and M. Nolan (Univ. Alaska Fairbanks)

1. はじめに

「IGBP/PAGES（古環境復元計画）と IASC（国際北極科学委員会）の国際プロジェクトとして進められている環北極海雪氷コア観測計画（Ice-Core Circum-Arctic Paleoclimate Program: ICAPP）の一環」として、これまで過去の気候・環境変動の記録が殆どなかったアラスカ周辺において雪氷コア掘削が計画・実施されている。昨年は ICAPP のもと北太平洋域の Mt. Logan で 220m の雪氷コア掘削が実施された。今回はこの Mt. Logan コア解析から得られる気候・環境変動情報と南北対比を行うため、北極海側に位置するマッコール氷河を雪氷コア掘削候補地点に定め、積雪堆積環境および融雪状況など次年度以降に行う予定である浅層コア掘削のための予備調査を行った。

2. 調査地点の概要

マッコール氷河は北緯 69° 20'、西経 143° 20' の北極圏に位置し、末端の標高は 1350m、源流部では 2400m に達する（図 1）。北米大陸最北の山脈であるブルックス山脈の狭い谷を北側に向かって流れる長さ 8km、幅 500m の細長い氷河である（図 2）。この氷河では 1956～57 年の国際地球観測年の際に亜極地型氷河の代表として初めて科学調査が行われて以来、アラスカ大学フェアバンクス校のグループが 1969～72 年氷河全体の熱収支と質量収支の観測、1993～96 年には質量収支のほかに氷厚と氷河の流速の観測が行われている。1971～72 年には北大低温研若浜先生らのグループも調査を行っており、積雪から氷河氷への転化過程について報告している。しかしながらマッコール氷河が位置するブルックス山脈の大半は北極圏国立野生生物保護区に指定されており、近年科学調査といえども環境への負荷をできるだけ軽減することが求められている。マッコール氷河は先に挙げた過去の観測の歴史があるので、この辺り一帯の氷河のなかで唯一コア掘削ができる可能性のある氷河である。

3. 調査概要

雪氷コア掘削によるアラスカ北東部の過去数百年間の気候・環境情報の復元を行うため、今年度から 5 カ年の予定で氷河流動観測を再開したアラスカ大学フェアバンクス校の研究グループと共同で、本年度の 8 月 8 日～20 日に現地調査を行った。本年度の調査の位置づけは、来年度以降に行う浅層コア掘削地点の選定のため、マッコール氷河全体の積雪堆積環境を把握することにある。そのため、氷河上流域から末端まで全 24 カ所において氷河表面の化学用および生物用試料の採取を行った。過去の調査から涵養域と推定される氷河上流部の標高 2300m 地点では、積雪の年間涵養量を測定するため雪尺を設置した。雪尺には 10cm 間隔に測温センサーをとりつけ、さらにインターバルカメラを雪尺から 5m 離して設置し、積雪深の経時変化を測定できるようにした（図 3）。またこの場所では、深さ 1.5m の積雪断面ピット観測と深さ 4.5m までのハンドオーガーによる雪氷コア採取を行った（図 4）。氷河中流域についても雪面の状態の時間変化を把握するため、氷河右岸

にある氷河を広範囲に見通せるコルにもインターバルカメラを設置した。この場所にはアラスカ大グループが自動気象観測システムを設置しており、年間を通じた氷河周辺の気候環境情報の集積が行われている。氷河上流部と中流部ではアイスレーダーによる氷厚、基盤地形および内部構造の観測もおこなった。さらに中流域では氷河流動観測のため GPS を2カ所設置した。氷河滞在期間中は赤外線カメラにより、中流域から上流域にかけて氷河表面の温度状況の観測も行った。

今後、今年度行った観測結果をまとめ、最適な浅層コア掘削地点選定のための情報を収集する予定である。

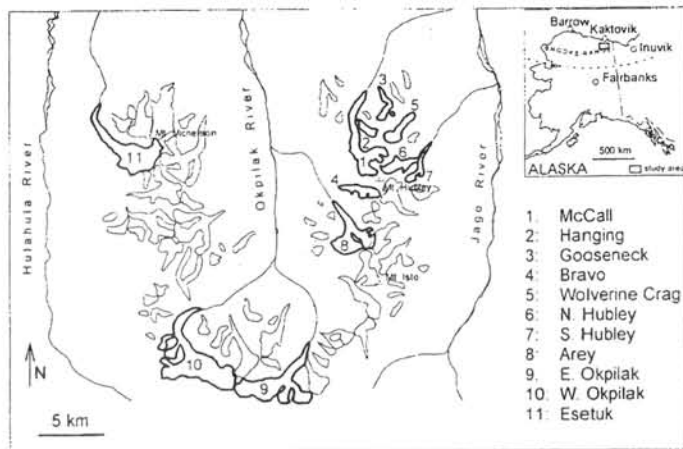


図1 マッコール氷河の位置

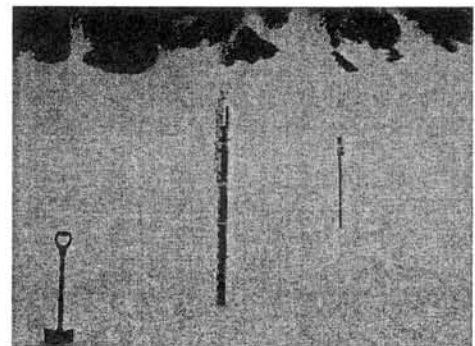


図3 測温センサー付き雪尺と
インターバルカメラ

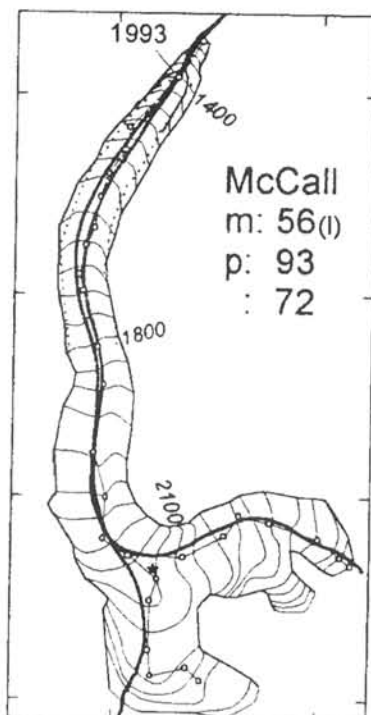


図2 マッコール氷河の形状



図4 ハンドオーガーによる雪氷コア採取

中国・祁連山 July 1st (七一)氷河観測の概要(2002 年)

松田好弘・坂井亜規子・藤田耕史(名大環境)・中尾正義(地球研)・
段克勤・蒲健辰・姚檀棟(中国科学院寒区旱区環境与工程研究所)

Glaciological observations on July 1st glacier in Qilian Mountains, China in 2002

Y. Matsuda, A. Sakai, K. Fujita (Nagoya University),

M. Nakawo (Research Institute for Humanity and Nature),

K. Duan, J. Pu and T. Yao

(Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Science)

Meteorological, hydrological and glaciological observations on July 1st (Qiyi) glacier were carried out from June to September in 2002. This paper reports the results of them with the comparisons with the past studies.

1. はじめに

2002 年 6~9 月に中国祁連山・July 1st (Qiyi / 七一)氷河にて日中共同の氷河観測を行ったので、その結果を過去の研究との比較も交えながら紹介する。

2. 気象観測

氷河末端付近に AWS (風向・風速・気温・相対湿度・短波放射上下・散乱光・放射収支・地温・降水量)を設置した。また、氷河上(4619m a.s.l.)においても気温計・短波放射計(上・下)を設置した。

3. アルベド・氷温 (4619m a.s.l.)

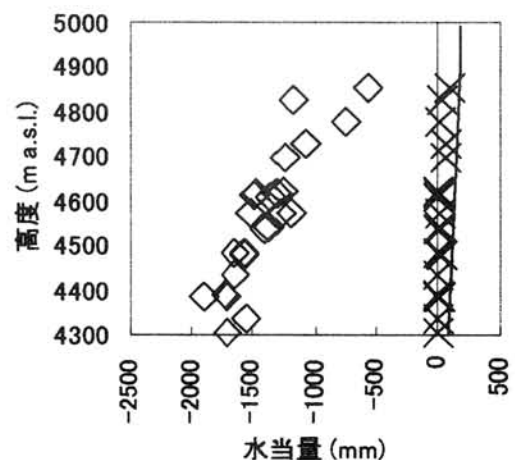
アルベドの日平均値は、0.92~0.16。

氷温は 0℃未満(表面付近を除く)。8m深(設置時の深さ)で、約-9~-8℃。

4. 質量収支

ステーク観測により求められた各地点の質量収支(6/29~9/4)は、大幅な負を示している(図)。祁連山では、夏季に降水が集中し、年間降水量

も少ないことも考慮すると、平衡線高度(ELA)は 1958~80 年代よりも高くなっていると思われる。また、1958~80 年代の観測により求められた、July 1st 氷河の全質量収支量と ELA との関係式を使うと、July 1st 氷河は、縮小傾向にあると考えられる。



図：2002 年 6 月 29 日~9 月 4 日の July 1st 氷河における質量収支(◇)と再凍結量(×)と、計算による固体降雪量(実線)

新庄における雪面アルベドの変動に与える積雪物理量の影響

本吉弘岐(株スペースサービス)・青木輝夫(気象研究所)・
阿部修・望月重人(防災科学技術研究所)・堀雅裕(JAXA/EORC)

Effects of snow physical parameters on fluctuations in broadband snow albedos at Shinjo

Hiroki Motoyoshi (Space Service, Inc.), Teruo Aoki (Meteorological Research Institute),
Osamu Abe, Shigeto Mochizuki (NIED), Masahiro Hori (JAXA/EORC)

Visible and near infrared albedos of snow were observed with snow grain size and concentration of snow impurities by snow pit observations at Shinjo, Japan during the periods from December, 2001 to April, 2002 and from December, 2002 to April, 2003. We observed the reduction of albedo with the elapsed time after snowfall. It is also observed that the increases of snow grain size and concentration of snow impurities both affect the snow albedo reduction. Furthermore, the relationship of mass fraction of snow impurities and number density of atmospheric aerosols near snow surface is examined.

はじめに 降雪後に雪面アルベドが減少していく現象は snow aging と呼ばれ、気候モデルにおける積雪陸面過程にもとりいれられている。一方、雪面アルベドは、積雪物理量(積雪に含まれる乾性不純物濃度や光学的に等価な積雪粒径など)に大きく依存することが知られている。こうした積雪物理量の変化と雪面アルベドの変化の間の関係を調べるために、2年間にわたり行った日射計による雪面アルベドと積雪断面観測による積雪物理量の測定の結果について報告する。また、光学式パーティクルカウンターを用いた大気エアロゾル数密度を測定から降雪後の乾性不純物濃度の変化と大気エアロゾルの関係についても調べた。

観測結果 観測は2001年12月から2002年4月と2002年12月から2003年4月にかけて山形県新庄市の防災科学技術研究所長岡雪氷防災研究所新庄支所の露場において行った。雪面の放射収支の連続観測から可視域及び近赤外域の雪面アルベドを測定し、同時に積雪断面観測から表面付近の雪サンプルの乾性不純物濃度と積雪粒子の光学的に等価な積雪粒径(枝の場合は枝の幅、その他は全径)を測定した。

ここでは解析が終了している2001年から2002年にかけての結果を示す。雪面アルベドは南中時刻に近い11:30から12:00までの平均値である。図1は降雪後の経過時間と可視域及び近赤外域の雪面アルベドの変化の様子である。降雪後の経過時間とともに両波長域ともに減少していく傾向が見られる(snow aging)。とくに100時間あたりまでの減少傾向が顕著である。図2は積雪粒径と雪面アルベド、図3は不純物濃度と雪面アルベドとの関係を示す。積雪粒径に対しては近赤外域で、不純物濃度に対しては可視域でアルベドの変化が大きいという傾向があり、放射伝達モデル計算からの予測とよく合っている。ただし、観測期間中の積雪では、積雪粒径が大きい場合には不純物濃度も大きい傾向があったため、積雪粒径と不純物濃度の両方を考慮した解析が必要と考えられる。

本発表では、2002年から2003年にかけての結果も合わせてアルベドの積雪物理量依存性についてモデル計算との比較を行い、積雪物理量の変化と雪面アルベドの変化の間の関係について報告する。

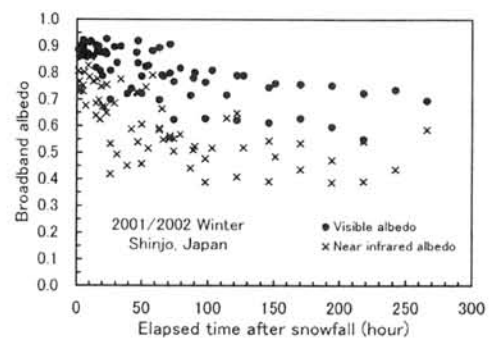


図1: 降雪後の経過時間と雪面アルベドの関係。

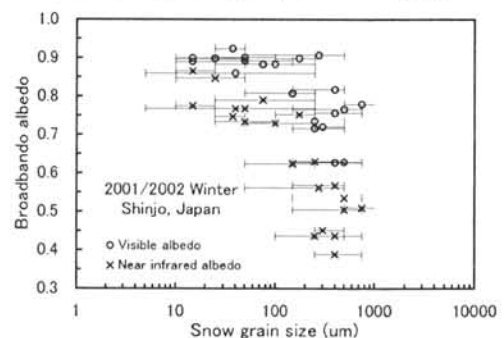


図2: 光学的に等価な積雪粒径と雪面アルベドの関係。誤差棒は測定された粒径の最小値と最大値をあらわす。

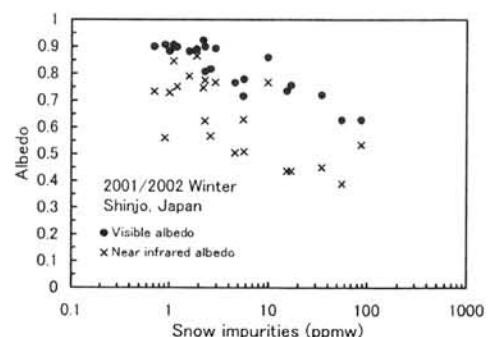


図3: 積雪中の不純物濃度と雪面アルベドの関係。横軸は積雪表面から5cmで採取された積雪試料中の乾性不純物濃度。

北極圏バローにおける水文気象観測

杉浦幸之助 (地球観測フロンティア研究システム)
大畑哲夫 (地球観測フロンティア研究システム/北大低温研)

Hydrometeorological observation at Barrow, the Arctic

Konosuke SUGIURA (Frontier Observational Research System for Global Change)
Tetsuo OHATA (Frontier Observational Research System for Global Change / Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University)

Recognizing the importance of cold region hydrological and climatic investigations, Frontier Observational Research System for Global Change (FORSGC) planned and implemented hydrometeorological observation to understand the actual conditions of blowing snow. This presentation describes the progress and presents preliminary results of hydrometeorological observations at Barrow. We must point out that we need to estimate energy fluxes using hydrometeorological data collected at Barrow.

はじめに 地球観測フロンティア研究システムでは、広域大気・水圏・陸面系の水循環諸過程のプロセス解明とモデリングの一環として、雪氷圏における吹雪の実態解明を目的とした観測研究を開始している。本発表では 2000 年度から北極圏バローに設置している水文気象観測の取得データを紹介するとともに、本観測研究の概要を報告する。

観測地 北米大陸最北端の北極海沿岸部に位置するアラスカ州バロー (北緯 71 度, 西経 157 度) では、夏季には草とコケが生育するが、平坦地が雪で覆われ、海水が着岸するとともに、一帯には広大な雪原が形成される。5 月中旬から 8 月初旬までは白夜, 11 月中旬から 1 月下旬までは極夜となる。バロー市街より北東約 8km のところにある NOAA/CMDL 周辺に、極域において一般に使用されている各種降水量計をはじめとした水文気象センサーを設置した。これらにより現在観測される水文気象要素は風向, 風速プロファイル, 気温プロファイル, 相対湿度プロファイル, 下向き短波放射量, 上向き短波放射量, 下向き長波放射量, 上向き長波放射量, 地中熱流量, 積雪深, 気圧, 地温プロファイル, 雪温プロファイル, 降水量, 吹雪粒子数などであり, 地表面フラックスなどが算出可能である。2000 年度は冬季観測用に各種観測機器が組み上げられたが, 2001 年度からは自動気象観測装置を通年観測用に設計しており, 太陽電池パネルとリチウム電池の併用で作動している。

取得データの解析 これまで得られた各水文気象要素データのうち, 右図はスノーパーティクルカウンターで捉えた雪面近傍の雪粒子質量フラックスの一例である。風速や温度といった気象条件が各々異なり, それぞれ特徴的な時系列データになっている。図(a)は, 風が弱いとき雪面から雪粒子が舞い上がっておらず, 降雪のみある場合が示されているが, 全体の雪粒子数が

少ないために 1 つの波形が 1 個または数個の雪粒子に対応している。対して図(b)は, 風速が増し, 雪面から雪粒子が間欠的に舞い上がっている様子, さらに図(c)は定常状態を示している。雪粒子の質量フラックスは 0.01 から $1 \text{ [kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}]$ の範囲にあるが, 平均雪粒子質量フラックスと変動成分からなり, 1 オーダー程度での変動が見られる。

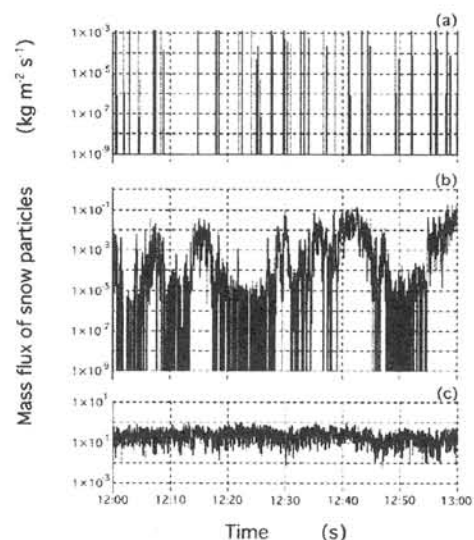


図 雪面から 1.5cm 高に設置されたスノーパーティクルカウンターで 1 秒毎に捉えた雪粒子質量フラックス。いずれも 12 時から 13 時までのデータ。時刻は AKST. (a)2002 年 3 月 1 日, (b)2002 年 2 月 25 日, (c)2002 年 2 月 27 日。

また自動気象観測装置で取得されたデータによると, 気温が低下しているときには強い風が吹いておらず, 顕著な放射冷却が見てとれるが, これは冬季水循環において, 低温になるにつれ風による雪の質量輸送が結果として弱くなることを示している。

今後は取得データをもとにした地表面フラックス解析により, 吹雪過程を考察していくことが必要となる。

福井幸太郎, 藤井理行 (極地研), MIKHAILOV Nikolai, OSTANIN Oleg (アルタイ大学), TROSHKIN Dmitrii (名古屋大学)

Mountain Permafrost Distribution in the South Chuyskiy Range, Russia Altai.

Kotaro FUKUI, Yoshiyuki FUJII (National Institute of Polar Research), MIKHAILOV Nikolai, OSTANIN Oleg (Altai State University), TROSHKIN Dmitrii (Nagoya University),

Many rock glaciers exist in South Chuyskiy Range, Russia Altai Mountains. Over 30 rock glaciers were identified on the northwest facing slope of Akkol valley (over 2200 masl) where located in the central part of South Chuyskiy Range. 4 rock glaciers were also identified on Kuektanar (1700-1800 m asl) where located north of South Chuyskiy Range. Results of spring water temperature measurements on the rock glaciers in Akkol valley and Kuektanar suggested that almost rock glaciers have permafrost at present. This shows the lower limit of mountain permafrost in and around South Chuyskiy Range is estimated 1700-1800 m asl.

はじめに

山岳永久凍土帯は一般に森林を欠くために気候変動の影響を受けやすいと考えられている。このため現時点での世界の山岳永久凍土の分布、厚さ、温度条件を明らかにすることは地形学の重要な研究課題になっている。2003 年 8 月にロシア・アルタイ山脈のほぼ中央に位置する南チュイスキー山地で山岳永久凍土の分布を調査した。この地域は高緯度不連続永久凍土帯の南限に近く、山岳永久凍土帯と高緯度不連続永久凍土帯が近接する地域である。このような地域での山岳永久凍土の分布はいまのところよく分かっていない。今回は永久凍土の指標地形（岩石氷河やピンゴ）の分布と岩石氷河前縁斜面の湧水の水温から山岳永久凍土の分布について検討した。

結果と考察

現地調査を行った南チュイスキー山地中央に位置する Akkol 谷では北西向きの谷壁斜面に 30 以上の岩石氷河を確認出来た。Akkol 谷の標高は谷の出口の谷底で約 2200 m である。ほとんどの岩石氷河は谷壁斜面上部の崖錐から谷底にかけて伸びており崖錐起源の岩石氷河であると考えられた。また、岩石氷河の前縁斜面、合計 30 ヶ所で湧水がみられた。湧水の水温は $0.1 \sim 1.5^{\circ}\text{C}$ と非常に低く、永久凍土の融け水であることが示唆された。Akkol 谷の谷底には 9 つの開放型ピンゴが存在する。ひとつのピンゴでピットを掘削したところ、深度 1.2 m 以下で凍結層を確認出来た。これらの結果から、Akkol 谷では谷底から北西向き斜面にかけて永久凍土が分布しており、高緯度地域の永久凍土指標地形であるピンゴと山岳永久凍土指標地形である岩石氷河が共存していることが分かった。

Akkol 谷の下流, Chuya 川の右岸に位置する Kuektanar (標高 1700~1800 m) では 4 つの岩石氷河を確認出来た。このうち、北西向きの岩石氷河の前縁斜面を川が横切っている。川の水温は岩石氷河の上流で 9 ° C, 下流で 5 ° C であった。この水温の低下は岩石氷河の永久凍土の融け水が川に加わったために生じたものと考えられる。したがって、この岩石氷河は永久凍土を内在しているものと考えられる。この Kuektanar より標高が低い場所では、岩石氷河の発達に好都合な崖錐の発達が良い斜面でも岩石氷河を確認出来なかった。また、岩石氷河以外の永久凍土の指標地形も見られなかった。したがって、南チュイスキー山地周辺の山岳永久凍土の分布下限高度は北西向き斜面でおよそ 1700~1800 m であると推定された。

Gas composition and structural analyses as tools for studying deformation of the basal ice from cold polar glaciers

SAMYN Denis,

Département des Sciences de la Terre et de l'Environnement,
Université Libre de Bruxelles, CP 160/03,
B-1050 Brussels, Belgium

FITZSIMONS Sean J.,

Department of Geography,
University of Otago, P.O. Box 56,
Dunedin, New Zealand

LORRAIN Reginald D.

Département des Sciences de la Terre et de l'Environnement,
Université Libre de Bruxelles, CP 160/03,
B-1050 Brussels, Belgium

Subglacial deformation is by now a well-established process. Due to the difficulty to access the active subglacial environment, there is however a lack of information concerning firstly the factors controlling the different types of ice deformation encountered in glaciers, and secondly the consequences of deformation on the initial physico-chemical characteristics of the ice. In this perspective, subglacial tunnels at the base of glaciers offer an excellent opportunity to gain insight into the glaciotectionic phenomena and to study the role of basal ice in the glacier behaviour.

This poster shows how detailed gas composition and structural analyses of basal ice shed light on the deformation processes affecting the marginal zone of Taylor Glacier (McMurdo Dry Valleys, Antarctica). The ice analysed has been sampled in a vertical shaft, a few meters deep, excavated at the end of a 20-meter long subglacial tunnel. This tunnel has been dug during the 1999/2000 summer from the left margin of the glacier, 1.4 kilometers upstream from the snout. Two ice facies have been observed in the shaft, where the ice temperature is -17°C : an englacial facies, consisting of clean bubbly ice, and a stratified facies, mostly composed of debris-rich ice layers and some clean ice layers. By a high-resolution gas composition study, we show here that changes in atmospheric gas composition appear in basal ice in places where deformation occurs. Within the clean ice layers of the stratified facies, progressive increase in CO_2 and decrease in O_2 concentrations have been detected towards the adjacent debris-rich ice layers containing small-scale shearing structures. It is shown in this work that melting-refreezing processes occurring in basal ice under the influence of localized stresses during shearing can modify the gas composition while keeping - or merely affecting - the initial total gas content. Since the basal ice studied at the margin of Taylor Glacier is well below the pressure-melting point, we consider that these changes in gas composition occur within thin liquid films at ice-debris interfaces and/or at ice crystal boundaries during the deformation of basal ice.

積雪内放射量と積雪層構造の観測

飯塚康子(総研大), 谷川朋範(筑波大), 青木輝夫(気象研究所), 堀 雅裕(JAXA*/EORC), 本吉弘岐(スペースサービス), 中島幸徳(RESTEC), 山内恭(極地研/総研大)

Observation of snow stratigraphy and radiation within the snow

Y. Iizuka (The Graduate University for Advanced Studies), T. Tanikawa (Univ. of Tsukuba), Te. Aoki (Meteorological Research Institute), M. Hori (JAXA*/EORC), H. Motoyoshi (Space Service), Y. Nakajima (RESTEC), T. Yamanouchi (NIPR/ The Graduate University for Advanced Studies)

To study on the relationship between physical parameter of snow and radiation process within snowpack, a field observation was carried out at Barrow in April 18-24th, 2003. From snow pitwork snow temperature, stratigraphy, grain type, grain size and density were observed. From radiation measurements, transmittance and extinction coefficient within Snowpack were calculated. From snow surface to 20cm below the extinction coefficient was variable with the depth.

はじめに

積雪内部の放射特性と積雪物理量との関係調べるため、2003年4月18~24日アラスカ州バロー近郊(Lat. 71° 18N, Lon. 156° 35W)において積雪断面の物理的特性(雪温・層位・雪質・粒径・密度)の観測と雪面および積雪内部の放射測定が行われた。本発表ではその測定結果を報告する。

観測方法

1)断面観測 層位は明確に雪質と粒径が異なることを境界とした。雪質は(社)日本雪氷学会による積雪分類に従って分類した。粒径は25倍、50倍のルーペを用いて眼視で測定した。密度は100cm²の雪をステンレスのサンプラーで採取し、電子天秤で重さを測定して計算した。

2)放射観測 放射の観測は小型日射計とスペクトルメータの2つの装置により測定された。小型日射計では雪面と積雪内部2点の400-700nm積算放射量を1分間隔で数時間測定し、スペクトルメータでは20分程度の間に雪面と積雪内部5~7点の350-2500nm波長別放射量を測定した。

結果と考察

断面観測の結果から雪質構造は地面から、粒径の違うしもぎらめ2層、こしもぎらめ層、凍雨の層、新雪結晶が風によって壊された破片からなるこしまり層であった。さらに、観測期間中に数回の降雪があり、結晶形の異なる新雪がこの上に追加された。しもぎらめ層の密度は300kg/m³程度、こしもぎらめ層は400kg/m³程度であった。積雪表面の粒径は、結晶全体の大きさを表すd₁が4/18には0.1~1.2mm、4/21に2.0~6.0mm、最終日4/24では0.08~0.6mmと変化した。一方、樹枝結晶の枝の太さなど、結晶内の光の代表的経路を表すd₂はそれぞれの日で0.04~0.1mm、0.02~0.06mm、0.08~0.3mmと変化した。

放射観測として波長域400-700nm、雪面下0cm、2.5cm、

5.0cm、10cm、20cm、30cmの放射量をスペクトルメータで測定し、透過率、消散係数を計算した。例として4/18の測定値を表1に示す。また、4/21、4/23、4/24にも同様の観測を行ったので、その消散係数の変化を図1に示す。4/18の天候は晴れ、4/21は曇り、4/23、4/24は雪であった。消散係数は表面から20cmの間で大きく変化している。この原因は表面から20cmまでの積雪層で、積雪の粒径、形、密度などが日によって変化したことと、これに18日は雪面の照射条件が変わったことが影響していると考えられる。

表1: 放射観測結果の例

400-700nm Radiation 2003/4/18 Barrow, Alaska			
Depth (cm)	Flux (W/m ²)	Transmittance	Extinction (cm ⁻¹)
0.0	179.8		
2.5	17.5	9.8E-02	0.93
5	7.3	4.1E-02	0.64
10	5.6	3.1E-02	0.35
20	1.9	1.1E-02	0.23
30	0.9	5.3E-03	0.17

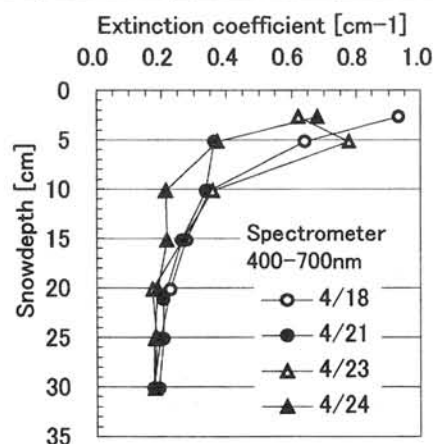


図1: 消散係数の変化

氷床流動が形成した南極氷床内部の電波散乱帯 —航空機搭載の高周波レーダによる検出—

松岡健一(地球研/ワシントン大)、浦塚清峰(通総研)
藤田秀二(極地研)、西尾文彦(千葉大)

Ice-flow induced scattering zone within the Antarctic ice sheet revealed by high-frequency airborne radar

K. Matsuoka (RIHN/Univ. Washington), S. Uratsuka (CRL)
S. Fujita (NIPR), and F. Nishio (Chiba Univ.)

To better understand how internal radar echoes depend on ice flow conditions and radar polarization, we surveyed two basins in East Antarctica using 179-MHz airborne radar. We compared radar echoes from three ice flow conditions: parallel sheet flow in the main stream of a basin, convergent flow towards an ice stream, and longitudinal compression by nunataks. We detected a distinct zone of high radar scattering several-hundred-meters thick at middle depths in the latter two regions. This high scattering zone was detected only when the radar polarization plane was parallel to the compression axis in ice. Such a high scattering zone was not found in parallel flow region, regardless of the polarization. Using theory, we interpret the high scattering zone as being caused by crystal-orientation-fabric alternations among adjacent ice layers due to difference in horizontal strain components. We argue that the spatial variation of the high scattering zone is crucial for understanding their past and present flow features.

1. はじめに

氷結晶の主軸方位分布(Crystal orientation fabrics, 以下 COF)は、氷の変形によって生じ、その氷の粘性を規定する。従って、COF の空間分布を測定することは、氷床の過去を知り未来を予測するうえで重要である。

COF の変化は、電波探査によって検知可能である。ごく最近の研究では、様々な偏波面で観測を行うことにより、COF パターンが計測できることも示されている^{1,2}。しかし、これらの研究は、幾つかの流域に限られている。COF が氷の変形によって発達することを考えれば、収斂流域や平行流域に加え、Dronning Maud Land や南極横断山脈に代表されるヌナタク周辺での COF に関する知識が不可欠である。

2. 観測地域および手法

観測地域を図1に示す。RGB は R1-R2 間の平行流域とヌナタク周辺の複雑な氷床流動によって、SGB は Shirase 氷河に向かう収斂流によって特徴づけられる。

本研究では、JARE27 が航空機搭載の 179 MHz レーダで取得したデータを解析した。飛行高度は 150~350 m で、レーダの偏波面は飛行方向に平行である。すなわち、氷床の誘電特性のうち飛行ルートと平行な成分を計測していることとなる。

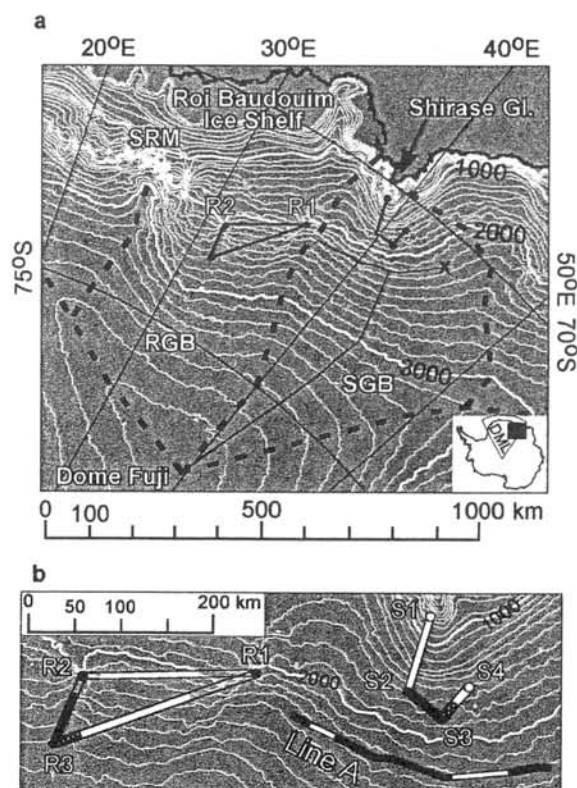


Figure 1. (a) Ragnhild Glacier Basin (RGB) and Shirase Glacier Basin (SGB). RGB has a chain of inland nunataks about 200-km from the coast that include the Yamato Mountains near R1, the Belgica Mountains near R2, and the Sor Rondane Mountains (SRM). Flight lines are shown as thick black lines. Thin solid lines in SGB show three

previous ground-based measurement lines². (b) The flight path and the locations of the continuous high scattering zone. Solid black lines mark the locations of the high scattering zone, the white-filled lines show locations of where this zone was not detected, and the hatched-line segments mark less distinct high scattering zone. We did not distinguish internal scattering and off-nadir bed scattering around R1 and R2. Line A is the lowest line in our previous study. Spatial variations of the high scattering zone along Line A were marked with the same way.

3. 結果

解析を行った地域のうち、収斂流域とヌナタクの上流側では、水平方向に連続する電波散乱帯が存在した (図 1b)。この散乱帯は、厚さは 200~400 m 程度で 700~1200 m 深に分布し、顕著なところでは、上下の氷と比べて 15~20 dB 強く電波を散乱している。一方、このような電波散乱帯は平行流域 (R1-R2, R3-R1) では見出されなかった。

4. 電波散乱帯を構成する氷の COF

S2 近傍では直交する 2 つの偏波面のうち一方でのみ強いエコーが生じている。したがって、複屈折によって見かけの散乱帯が生じている可能性は低く、3 で述べた深度帯で強い電波散乱が生じていると考えられる。氷床中の電波散乱は酸性度、密度、COF の変化によって生じるが、レーダの周波数と注目している深度から、電波散乱の主要原因は COF と考えられる。

電波散乱帯が見出された地域では、いずれも歪みの水平成分が存在する。また、散乱帯は、偏波面が圧縮軸と一致している場合にのみ観測された。COF パターンに関する従来の研究成果と SGB での詳細な地上レーダ計測^{1,2}を考慮すれば、COF が図 2 の a \leftrightarrow b \leftrightarrow c と、もしくは b のまま集中度が変化することにより (図 2b の矢印)、強い電波散乱が生じたと考えられる。この解釈は、レーダの偏波面が圧縮軸と異なる場合には強い散乱を示さない観測事実 (S2 近傍) も説明できる。

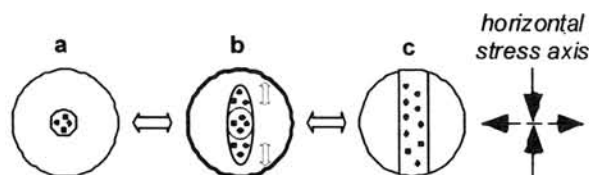


Figure 2: Depiction of COF patterns inferred from the observed radar echoes. All diagrams are projected to the horizontal plane. (a) Strong vertical single-pole. (b) Elongated single-pole. (c)

Vertical-girdle. For cases b and c, the cluster plane of c-axes is along the compression axis and perpendicular to the extension axis.

5. 散乱帯の分布が示唆する氷床変動史

1) Beligica 周辺 10×20 km 程度に散在するヌナタクとそれに伴う浅い基盤地形による圧縮効果は、散乱帯が存在する 85 km×10km の領域の COF 発達に影響を及ぼしていると考えられる。このようなヌナタク周辺に特有の COF は、ヌナタクに残された痕跡から復元される過去の氷床描像に影響を与えている可能性がある。

2) 4 節で示したような COF 変化は、水平方向の圧縮を受ける前に平行流域で強度の異なる単極大型 COF (図 2a) の互層を形成している必要がある²。一方、東経 40° に沿った流速を参照すると、S2-S3 の氷は現在の収斂域に含まれる 210 km 上流で堆積したことになる。このことは、S2-S3 の強散乱帯を構成する氷の堆積時 (約 10,000 年前) には収斂域が現在よりも小さかったことを示唆しており、過去数千年のあいだに SGB 下流域で氷厚減少が生じたとする結果と整合する。

3) 偏波面が圧縮歪み方向と一致しているにもかかわらず、収斂域下流にも散乱帯が顕著ではない地域が存在する (S3-S4, Line A の一部)。同様な氷床内の電波散乱の消失は、Ice Stream D でも観測されている。底面滑りの有無に起因する氷床内部の応力変化は考え得る原因の一つである。すなわち、電波散乱帯が顕著に存在する水平歪みの大きな地域における散乱帯の分布は、氷床の底面環境を反映している可能性がある。

6. 今後の課題

氷温度や歪み量が異なる西南極やグリーンランド氷床におけるレーダによる COF 計測、電波散乱帯の強度や空間分布を的確に記述できる変数の確立、COF と共に氷の粘性に大きく影響する氷温度の遠隔測定技術の開発は、極域氷床のより正確な理解に必須な今後の課題である。

[References]

1. Fujita, S., K. Matsuoka, H. Maeno, and T. Furukawa. in press. Scattering of VHF radio waves from within an ice sheet containing the vertical-girdle-type ice fabric and anisotropic reflection boundaries. *Ann. Glaciol.*, **37**.
2. Matsuoka, K., T. Furukawa, S. Fujita, H. Maeno, S. Uratsuka, R. Naruse, and O. Watanabe. in press. Crystal-orientation fabrics within the Antarctic ice sheet revealed by a multi-polarization-plane and dual-frequency radar survey. *J. Geophys. Res.*

偏波と散乱を考慮した氷床中を伝搬する電波の理論的取り扱いと

ドームふじでのレーダ観測との比較

前野英生（通信総合研究所）、藤田秀二（国立極地研究所）、松岡健一（University of Washington）、古川晶雄（国立極地研究所）

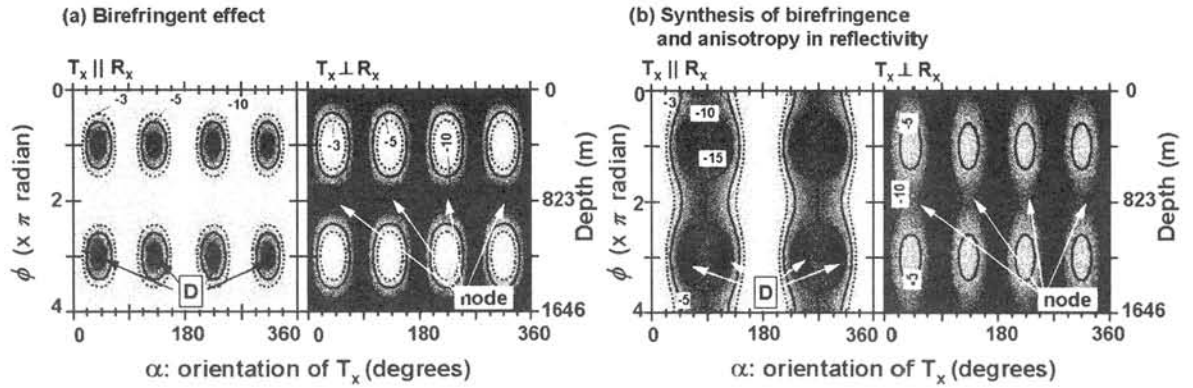
Theory of radio wave depolarization and scattering within ice sheets with comparison to measurements at Dome Fuji, Antarctica

Hideo Maeno (Communications Research Laboratory), Shuji Fujita (National Institute of Polar Research), Kenichi Matsuoka (University of Washington), Teruo Furukawa (National Institute of Polar Research)

Crystal-orientation fabric (hereafter COF) has a large influence on ice sheet flow. Earlier radar studies have shown that COF-based birefringence occurs within ice sheets. Also, electromagnetic scattering within ice occurs mostly due to stacked layers composed of differing permittivities and conductivities that arise from differing values of density, acidity, and COF. We propose an improved mathematical model that can simply handle all these phenomena together. We used a matrix-based model to study the two-way travel of the depolarized radio waves that scatter at both isotropic and anisotropic scattering boundaries. We demonstrate two basic types of signals from polarimetric radar sounding: (i) extinction of power at depths where ordinary and extraordinary components are out of phase, (ii) effect of the anisotropic scattering boundaries combined to the birefringent effect. We then compared the calculated features with real VHF radar data obtained at Dome Fuji Station in Antarctica. Data exhibited typical features of (i), pure effect of birefringence. We also compared the calculated features of (ii) with data from the ice sheet containing similar conditions. The data contained features explainable from those in the calculation. We propose the model is useful to examine interactions between physical structures of ice, in particular COF, and radio waves.

結晶主軸方位分布（Crystal-orientation fabric: 略記 COF）は、氷の物理的状態としては氷床の流動を規定する最も支配的なファクターの一つとして知られている。古くから、氷床内部のラジオ波帯の電磁波探査では、COF によって発生する電磁波の複屈折現象が存在することが知られていた。また、氷床内部を伝搬する電磁波は、氷床内部の誘電率と電気伝導度のゆらぎによって発生し、その誘電率と電気伝導度のゆらぎを起こす主要な原因は、密度、酸性度、COF のゆらぎであることが最近の研究で明らかになってきた。我々は、こうした、氷床内部での電磁波伝搬に関わるすべての現象；複屈折現象と散乱現象；を記述する電磁波伝搬モデルを提案し、モデル計

算の出力と、現実の観測の対比を示す。我々は、マトリックスの記述に基づいて、氷床内部で偏波が複屈折を起こしながら伝搬する過程と、異方性をもった散乱体での電磁波散乱を、同時に、且つ、簡潔に記述する手法を提案する。我々は、このモデルを用いて、偏波観測を用いたレーダサウンディング (polarimetric radar sounding) で発生する典型的なレーダ信号を出力として示す。それは、以下の2例である。(i) 正常成分 (ordinary wave) と、異常成分 (extraordinary wave) の電磁波が逆位相になり消光 (電磁波成分がうち消し合う現象) が発生する例。(ii) 上記の複屈折現象と同時に、電磁波が散乱係数に偏波方位異方性を持った散乱体で散乱する効果が重なりあった例。そして我々は、これらの計算結果を、現実の南極氷床頂部 (ドームふじ) で VHF レーダ観測を実施した結果と比較した。観測結果は、典型的な複屈折効果の例(i)と同様なものであった。我々は計算結果(ii)を、同様な氷床物理条件をもつ地点 (南極みずほ基地) でのレーダ観測と比較をした。実測のデータは、計算結果(ii)から良く説明できるいくつかの特徴を持っていることを見いだした。こうしたモデルと実測の一貫性から、我々は、氷床内部の物理環境、特に COFを知るために、新しいモデルが役にたつものであることを提唱する。



α - ϕ diagrams showing simulated results on the relative variation of the radio wave power propagated through an ice sheet. Effects from (i) birefringence and (ii) anisotropic scattering boundary were investigated. The abscissa α is the orientation of T_x from one of the principal axes of birefringence. The ordinate is the phase difference ϕ between the ordinary wave and the extraordinary wave. ϕ is a function of depth, the radio frequency and the anisotropy in the dielectric permittivity tensor in ice. Relation among these is defined in equation 10. If we assume the anisotropy in the dielectric permittivity is 0.0034, one tenth of the dielectric anisotropy of single crystal, the ordinate can be rewritten as a depth scale given in the right axis. In this example, at depths of 823 m and 1646 m, ϕ reaches 2π and 4π , respectively. (a) Effects due to birefringence only. $T_x \parallel R_x$ (left) and $T_x \perp R_x$ (right). In $T_x \parallel R_x$, the signal drops when $\phi = (2n+1)\pi$, with n an integer, and α is close to $\pi/4$ from the nearest principal axes. $T_x \perp R_x$, extinction of the signals occurs over a wide depth range at the principal axes. At $\phi = 2n\pi$, “nodes” appear in the signal. (b) Effects when both birefringence and anisotropic reflectivity occurs. We assumed that the 0-180° axis had a 10 dB stronger power reflection than the 90-270° axis; thus, in this case, the principal axes of birefringence and anisotropy in reflectivity are the same. Positions of signal drop in the α - ϕ diagram are indicated as “D”. In $T_x \perp R_x$, at $\phi = 2n\pi$, “nodes” appear in the signal but it is less perfect extinction than (a).

VHF 偏波レーダ観測を用いての、南極ドームふじ頂部領域広域での氷床内部歪み履歴の抽出

藤田秀二（国立極地研究所）、前野英生（通信総合研究所）、松岡健一（University of Washington）、古川晶雄（国立極地研究所）

Detection of internal strain history of the ice sheet in the wide vicinity of Dome Fuji region, Antarctica, using VHF polarimetric radar sounding technique

Shuji Fujita (National Institute of Polar Research) , Hideo Maeno (Communications Research Laboratory), Kenichi Matsuoka (University of Washington) , Teruo Furukawa (National Institute of Polar Research)

Crystal-orientation fabric (hereafter COF) reveals strain history of ice, and has a large influence on ice sheet flow. Earlier radar studies have shown that COF-based birefringence occurs within ice sheets. Also, electromagnetic scattering within ice occurs mostly due to stacked layers composed of differing permittivities and conductivities that arise from differing values of density, acidity, and COF. Maeno and others (2003, this symposium) proposed an improved mathematical model that can simply handle all these phenomena together. They used a matrix-based model to study the two-way travel of the depolarized radio waves that scatter at both isotropic and anisotropic scattering boundaries. They demonstrated a basic type of radar signal from birefringent ice sheet: extinction of power at depths where ordinary and extraordinary components are out of phase. They then compared the calculated features with real VHF radar data obtained at Dome Fuji Station in Antarctica. Data exhibited typical features of pure effect of birefringence. They proposed that the model was useful to examine interactions between physical structures of ice, in particular COF, and radio waves.

Based on this work done by Maeno and others, we applied this polarimetric radar sounding technique and the model for detection of the internal strain history of the ice sheet. In the radius of 30 km in the vicinity of the Dome Fuji, we carried out polarimetric radar sounding at 16 locations. We kept two antennas, transmitting antenna and receiving antenna, parallel or perpendicular, and rotated their orientation by 360°. From orientations where extinction of the signal occurs, we determined principal axes of strain at these 16 locations. The principal axes of the strain are from strains that occurred in the past. This information seems to be viable to investigate past strain around the dome, that is, migration of the dome in glacial-interglacial periods. We will present current state of this study and future prospects.

結晶主軸方位分布（Crystal-orientation fabric: 略記 COF）は、氷の物理的状态としては氷床に蓄積された過去の歪み履歴を反映するほか、さらにはその後の氷床流動を規定する最も支配的なファクターの一つとして知られている。一方、古くから、氷床内部のラジオ波帯の電磁波探査では、COF によって発生する電磁波の複屈折現象が存在することが知られていた。また、氷床内部を伝搬する電磁波は、氷床内部の誘電率と電気伝導度のゆらぎによって発生し、その誘電率と電気伝導度のゆらぎを起こす主要な原因は、密度、酸性度、COF のゆらぎであることが最近の研究で明らかになってきた。このように、COF は氷床内部の電磁波伝搬過程でも支配的な役割をもっている。前野ら（2003, 本シンポジウム）は、こうした、氷床内部での電磁波伝搬に関わるすべての現象；複屈折現象と散乱現象；を記述する電磁波伝搬モデルを提案し、モデル計算の出力と、現実の観測の対比を示した。彼らは、マトリックス表記の記述に基づいて、「氷床内部で偏波が複屈折を起こしながら伝搬する過程」と、「異方性をもった散乱体での電磁波散乱」を、同時に、且つ、簡潔に記述する手法を提案した。彼らは、このモデルを用いて、偏波観測を用いたレーダサウンディング（polarimetric radar sounding）で発生する典型的なレーダ信号を出力例として示した。特に、正常成分（ordinary wave）と、異常成分（extraordinary wave）の電磁波が逆位相になり消光（電磁波成分がうち消し合う現象）が発生する例をモデルとして再現し、更には、現実の南極氷床頂部（ドームふじ観測拠点）での観測結果は、この典型的な複屈折効果の例を示すことを明らかにした。彼らは、こうしたモデルと実測の一貫性から、氷床内部の物理環境、特に COF を知るために、偏波レーダ観測と、新しいレーダモデルが役にたつものであることを提唱した。

我々は、この前野らの研究に基づいて、偏波レーダ観測技術を氷床内部の歪み履歴を明らかにする観測に応用した。ドームふじ頂上近傍の、半径 30km の範囲のなかに合計 16 地点の定点観測点を設置し、偏波レーダ観測を実施した。具体的な観測手段としては、雪上車に搭載したレーダの送受信アンテナを、平行あるいは垂直に保ち、各観測地点で 360 度方位を 16 ステップで変えて観測をした。この観測から、複屈折による「消光」が発生する方位と深度を各地点で同定をした。この「消光」が起こる方位は、各地点での COF の主軸方位、言い換えると、蓄積された歪みテンソルのもつ主軸に相当する。氷床に蓄積された歪みは、現在進行中の歪みと言うよりも、過去の氷期間氷期サイクルのなかで蓄積した歪みであるから、これを詳細にひもとくことによってドーム頂部領域で起こった氷床の歪みの履歴を解明できるはずである。特に、ドーム頂部やリッジの過去の移動（migration）に着目をして解析をすすめている。氷床頂部の移動が発生した場合、その時代時代の氷床頂部の位置に応じて、その下にあった氷のもつ歪み（そして歪みの主軸）は異なっているはずである。これを最も詳細にひもとくには、いくつかの異なる主軸をもつ氷の積層構造での電磁波伝搬のモデル計算が最終的には必要である。シンポジウムでは、観測結果例と、歪み分布についての分析の現状を紹介し、議論をする。

異なる温度に保存されたドーム Fuji コアの体積緩和過程の目視観察

斎藤 健¹, 宮本 淳¹, 成田英器², 本堂武夫¹ (¹北海道大学低温科学研究所, ²総合地球環境研究所)

Visual stratigraphic observation of volume relaxation process under the different storage temperature of the Dome Fuji ice core

Takeshi SAITO¹, Atsushi MIYAMOTO¹, Hideki NARITA², Takeo HONDOH¹(¹Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, ²Research Institute for Humanity and Nature)

We are keeping the Dome F ice core at two kinds of storage temperature (-50 and -20°C). Now, about 6 years passed after stored ice core. In order to compare volume relaxation process of the Dome F ice core under the different storage temperature, we took images by digital camera. Many tiny bubbles and cleavage cracks were observed in the ice core keeping at high storage temperature (-20°C).

はじめに

氷床から掘削された氷コアは氷床深部の静水圧下からより低圧環境下に置かれた時から体積緩和が始まる。様々な解析のためには氷コアが氷床深部にあった時と同じ環境を保ち、体積緩和等を抑えることが必要であるが、大量のサンプルを圧力容器に入れることは困難である。低温科学研究所では氷コアをより低温で保存すればクラスレート・ハイドレートの解離が長期間にわたり抑えられるという見積もりから、ドーム Fuji コアを -50°C に保存している。本研究では、異なる温度(-50 , -20°C)で掘削後約6年間保存されていたドーム Fuji コアの体積緩和の違いを目視観察により比較する。

サンプル・実験方法

ドーム Fuji コアは以下に示す5つの深度からサンプリングした。①気泡からクラスレート・ハイドレートへの変態過程であるトランジション・ゾーン(999 m)。②気泡がクラスレート・ハイドレートへ変態したトランジション・ゾーンの終わり(1196 m)。③気泡の無いバブルフリー・ゾーン(1502 m)。④③と同じくバブルフリー・ゾーン(1999 m)。⑤ドーム Fuji コア最深部(2485 m)。 -50°C と -20°C に保管されていた同じ深度のコアの表面をミクロトームで整形し、側面から蛍光灯で光をあてた。氷コアの背景は黒くし、 90° 方向の散乱光をデジタルカメラで撮影した。これらの作業はすべて -20°C の低温室で行われた。

結果と考察

Uchida *et al.* (1994)は -20°C の保存温度において、数にして5%のクラスレート・ハイドレートが解離するのに約115日、 -50°C の保存温度においては約34年かかると見積もっている。999 mの比較写真を下図に示すが、保存温度 -20°C のコアは大量に現れたクラスレート・ハイドレートが解離した気泡やクリベージ・クラックが散乱体となり白く曇っていることがわかる。また、散乱光輝度から判断される体積緩和速度は深いコアほど遅いことがわかった。これは浅いコア、特にトランジション・ゾーンにおいては元々存在していた高圧気泡の膨張が駆動力になり緩和速度が速められていると考えられる。したがって、クラスレート・ハイドレートが解離しなければ体積緩和は抑えられることが明らかになった。クラスレート・ハイドレートの解離はコアをより低温で保存することにより抑えられることが示された。また、ドーム Fuji 基地から日本国内までの輸送経路のうち、昭和基地から東京までは観測船「しらせ」によって約一か月半をかけて輸送された。航海中の保存温度はコア総量の約95%が -20°C 、約5%が -80°C の環境下で輸送されており、この間の温度変化が体積緩和にどのような影響を与えているか、更に比較検証する。

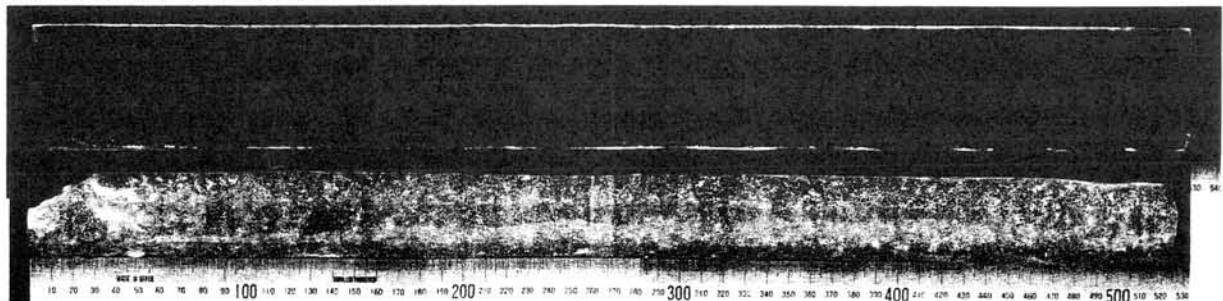


図. ドーム Fuji コア 999 m. 上: 保存温度 -50°C , 下: 保存温度 -20°C .

ドームふじ深層コアによる古環境変動の周期性

佐藤和秀（長岡高専）、渡邊興亜、藤井理行、神山孝吉、本山秀明、古川晶雄、
五十嵐誠（極地研）、金森悟（元名大水圏研）

Some features of periodicities of paleo climatic records extracted from Dome Fuji deep core

K. Satow¹, O. Watanabe², Y. Fujii², K. Kamiyama², H. Motoyama², T. Furukawa², M. Igarashi² and S. Kanamori³

¹ Nagaoka National College of Technology, ² National Institute of Polar Research,

³ Atmospheric and Hydrospheric Research Institute, Nagoya University

Power spectrum for the oxygen isotope variation found out three significant cycles for the past 320 kyr from the Dome Fuji ice core. Over the past 320 kyr, almost same dominant periodicities as that in the isotope-temperature variation were also detected in almost all chemical records.

1.はじめに

日本南極地域観測隊がドームふじ基地で掘削した 2503m 深の深層雪氷コアから多くの古環境の復元が行われている。コアの深さ年代は、過去の積雪量と氷床流動モデルから次のようにして決定された（Watanabe *et al.*, 2003）。現在の氷床表面の積雪量と積雪の酸素同位体組成との関係式（Satow *et al.*, 1999）が過去にも成立すると仮定して、コアの酸素同位体組成から過去の積雪量の推定を行った。氷床流動はグリーンランド氷床で展開された定常モデルを応用し、コアから得られた火山シグナル年代（2 カ所）などのチューニングを行った結果、表面から 2503m 深までの過去 32 万年のコア年代が得られた。

2.古環境変動の卓越周期

コアの酸素同位体組成の変動から、過去 3 回の氷期-間氷期サイクルが得られた（図 1）。また海洋藻類活動に關係するメタンスルホン酸（MSA）や主要化学イオン成分（Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺など）変動も解析された。これらの指標について 500 年毎の値を求め、32 万年変動のパワースペクトル解析を行った。酸素同位体組成変動について 10.7 万年、4 万年、2.1 万年の 3 つの卓越周期が得られた。これらは地球の公転軌道などの天文学的変動の 3 つのミランコビッチ・サイクルに相当する。その他の指標についてのパワースペクトル解析結果を図 2 に示す。多くの指標変動に酸素同位体組成にお

ける卓越周期に近い周期が得られた。

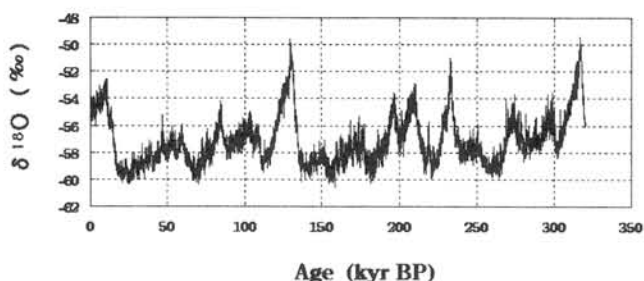


図 1.ドームふじコアの酸素同位体組成の変動

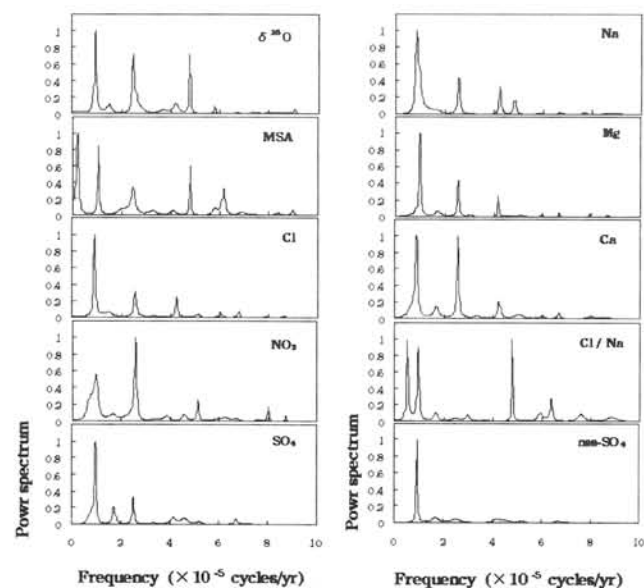


図 2.ドームふじコアの各環境指標の 32 万年変動のパワースペクトル解析。縦軸の単位は任意。

2003 年度 North GRIP 活動報告

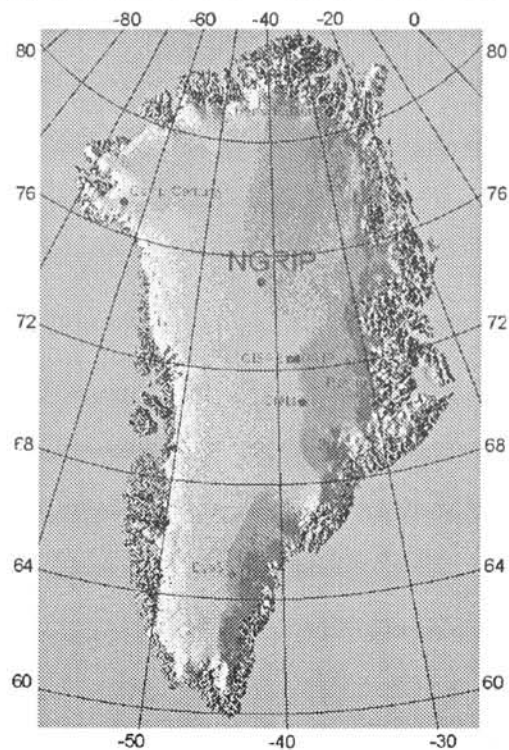
本山秀明(極地研)、田中洋一(ジオシステムズ)、庄子仁(北見工大)、
渡辺興亜(極地研)、藤井理行(極地研)

Report of field activity for North GRIP 2003 season

Motoyama, H. (NIPR), Tanaka, Y. (Geosystems Inc.), Shoji, H. (Kitami Inst. Tech.),
Watanabe, O. (NIPR), Fujii, Y. (NIPR)

North Greenland Icecore Project (North GRIP) is an international program for ice core drilling/analysis to investigate paleo-climate change. July 17, 2003, the drill reached bedrock at a depth of 3084.99 m when subglacial melt water entered the lower 20 m of the borehole from below.

North GRIP は、デンマーク・コペンハーゲン大学（代表：Dr. D. Dahl-Jensen）を中心にドイツ、日本、スウェーデン、スイス、フランス、ベルギー、アイスランド、米国等の国際協力のもとに行われている深層コア掘削・研究解析である。2001 年 8 月 2 日に 3001m までの掘削を行い、2002 年は中断し、2003 年に掘削を再開した。掘削当初は 2001 年にドリルスタックのために投入したエチレングリコールが孔底から数 m 上まで対流し、そこにスラッシュの凍った橋(ice bridge)が出来ていて、これを突破するのに時間がかかった。それから南極 Dome C の深層掘削で見出された、エチルアルコールと水の混合液（EWS と呼ぶ）を投入して、コア掘削を行った。この最大の問題は、コア掘削は数 10cm から 1m 程度可能だが、地上にドリルを上げてきたときに、低温域を通過するので、チップ室内のスラッシュが凍ったり、コアバレル内に氷コアが凍りつく。最初は温風で暖めていたが、氷コアに悪影響を与える可能性があるので、液封液を -4℃まで温めたバスタブにつけて 20 分程度放置すると簡単に取り出せた。それ以外には掘削孔にいろいろな落下物があり、その回収に時間がかかった。7 月 10 日に掘削深が 3054m を突破し、グリーンランド氷床で一番長い氷コアになった。その後 7 月 17 日に掘削深度が 3084.99m で岩盤に到達し、このときに氷床下に被圧された水があり、20m 進入した。得られた氷コアの解析から、目的であった Eemian 間氷期の氷が得られた。日本からは深層掘削に本山が 6 月 3 日から 6 月 25 日まで参加した。



南極浅層コア (YM85) 基本解析報告

○ 五十嵐誠、本山秀明、古川晶雄、河野美香 (極地研)、西尾文彦 (千葉大)、
 亀田貴雄 (北見工大)、鈴木利孝 (山形大)、鈴木啓助 (信州大)、佐藤和秀 (長岡高専)、
 青木周司 (東北大)

Basic analysis of Antarctic shallow ice core at YM85

M. Igarashi, H. Motoyama, T. Furukawa, M. Kohno (NIPR), F. Nishio (Chiba Univ.), T. Kameda (Kitami Inst. Tech.), T. Suzuki (Yamagata Univ.), K. Suzuki (Shinshu Univ.), K. Satow (Nagaoka Natl. College Tech.) and S. Aoki (Tohoku Univ)

Japanese Antarctic Research Expedition (JARE) has collected shallow ice cores in East Dronning Maud Land during the last two decades. The object of retrieving the ice cores is to obtain records of climate, atmospheric chemistry and surface mass balance through the ice core analyses. The ice core study is a part of the ITASE (International Trans-Antarctic Scientific Expedition) program, which is an international effort to obtain paleoclimatic records and clarify past environmental changes during the last few hundreds years in the Antarctic.

We have been analyzing a shallow ice core drilled at YM85. The drilling site is located in the Shirase Glacier, and at the middle point between Mizuho station and Yamato Mountains. For basic analyses, stratigraphy, bulk density, electrical conductivity measurement (ECM), digital video recording, impermeability, and major chemical compositions were measured. We will report the result of measurements from the ice core.

1, はじめに

第 42 次南極観測隊は、第 5 期南極観測 5 カ年計画雪氷分野の氷床変動システム観測研究計画の中で YM85 地点において 105m 深の浅層コア掘削を実施した。YM85 地点 (71° 35'14"S、40° 38'5"E、標高 2246m) は白瀬氷河末端から約 200km 内陸に位置し、みずほ基地とやまと山脈のほぼ中間にあたる。YM85 は白瀬氷河の流線の中央部にあたるので、コア解析により氷河流動に関する貴重な情報の入手が期待されている。

2, サイエンストレンチ概要

国立極地研究所低温室において、1 回目のサイエンストレンチ (2002 年 8 月) で 68m 深まで、翌年 7 月に行った 2 回目のサイエンストレンチで 105m 全層についてコア処理を行った。作業内容には現地で掘った直後のコアを各種分析機器で基本解析が行えるように切断、融解、ポリ瓶の洗浄および試料の分注、ECM や層位構造の記録、保存するコアの梱包までの全てが含まれる。1 人 1 日 6 時間の作業を行い約 90 人日で全作業を終了し、基本解析用の融解試料を約 500 本作成した。

3, 年間涵養量の推定

YM85 地点は S16 地点から内陸へ向かう通常ルートから外れており、雪尺測定データの蓄積はない。昨年のシンポジウムにおいて戸山他が ECM 測定より夏季に堆積した層を検出し、年々の涵養量を水当量で約 200mm と推定している。この結果はコア掘削と同時にに行った表面付近の積雪断面観測結果とほぼ一致している。しかし YM85 地点周辺はサスツルギが発達しており、カタバ風の影響を強く受けていることが予想される。したがって年によっては年間の質量収支が負の値を示す可能性もあり、年々の季節変動を追うだけでは正確な涵養量推定は困難である。そこでトリチウム濃度測定による YM85 の年間涵養量推定を行った。南極内陸部ではトリチウム濃度は 1966 年に堆積した積雪層で最

大値を示し、1965 年および 1969 年にもトリチウム濃度は高い値を示す。図 1 に YM85 コアのトリチウム濃度測定結果を示した。8.67m、9.82m、10.15m にそれぞれ高濃度を示す層が存在し、それぞれの堆積年代は 1969、1966、1965 年と考えられる。各年代と現在までの間の平均年間涵養量を求めた結果、0.14~0.15m/year in WE となった（表 1）。ただし高いトリチウム濃度を示した年代間の平均涵養量は表 2 に示すように 0.21~0.24 を示し、ECM 解析結果より求めた涵養量に近い値を示した。したがって、YM85 は年々の涵養量が大きく異なっていることが予想される。今後化学解析結果より得られる火山噴火シグナルの情報を待って、さらに詳細な涵養量情報を求めていく予定である。

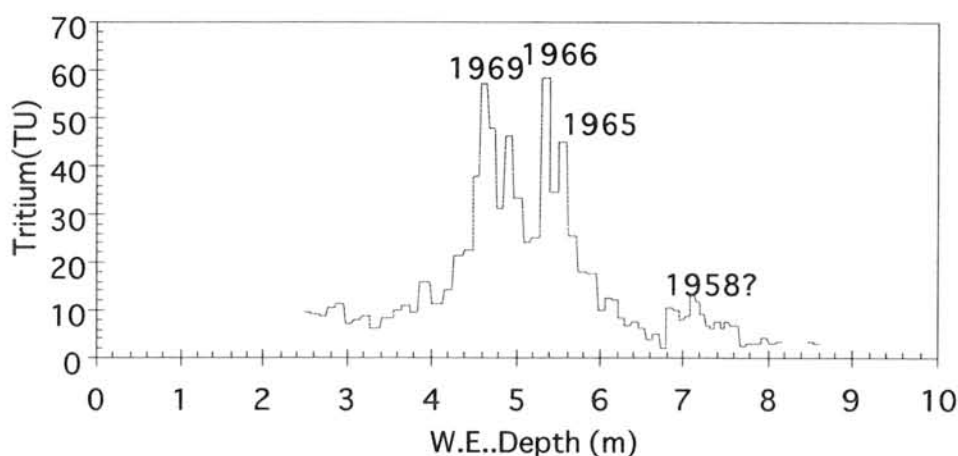


図 1 YM85 コアのトリチウム濃度測定結果

表 1：表面から各ピークまでの平均表面質量収支 (m/year in w.e.)

Depth(m)	W.E.D.(m)	Year	表面質量収支 (2002-)
8.67	4.66	1969	0.14
9.82	5.39	1966	0.15
10.15	5.6	1965	0.15
13.5	7.14	1958	0.16

表 2：各ピーク間の平均表面質量収支 (m/year in w.e.)

Year	1969	1966	1965	1958
1969		0.24	0.24	0.23
1966	0.24		0.21	0.22
1965	0.24	0.21		0.22
1958	0.23	0.22	0.22	

謝辞:本研究を進めるにあたり、国立極地研究所で2度行われたサイエンストレンチに参加された方々（直木和宏、武藤淳公、伊藤知美、三ツ木奈津子（千葉大）、戸山陽子、藤原宏章（元千葉大）、森 武史（東北大）、小島真輔（北見工大）松本倫佳、伊藤剛、茂庭由紀（山形大）、植村立（東工大）、倉元隆之（信州大）以上敬称略）のご協力をいただいた。ここに発表者一同は感謝の意を表します。

フィルン・エアの化学

金森 悟 (名大)、金森暢子、本山秀明、渡辺興亜 (極地研)

Chemistry of Firn Air

Satoru Kanamori (Nagoya Univ.), Nobuko Kanamori,

Hideaki Motoyama, Okitugu Watanabe (NIPR)

南極積雪の上層で揮発性の酸が積雪中を移動し、それが積雪中の化学成分の分布に影響していると P. Wagnon, R.J.Delmas, and M. Legrand (1999) が主張した。これに関して、表面で大気と積雪の間に HCl, HNO₃ 等の交換があることが推論されている。しかし更に深い積雪から表面まで、気体の化学成分が移動する可能性については、未だ推測の域を出ない。これを確かめるためには、積雪の間隙を満たしているフィルンエアを採取して調べることが必要である。従来、フィルンエア試料を採取する事およびその中に含まれる極微量の化学成分の分析が難しいために、本格的な調査研究は行われていない。今回、2001 年に JARE45 隊によってみずほ高原の YB85 で、化学分析を目的とした本格的なフィルンエアの採取に成功したので、その試料およびドーム F (1997 年) およびグリーンランド (2000 年) で試験的に採取した試料の分析結果を併せて報告する。

試料採取および化学分析 塩ビパイプを積雪中に打ち込み、外気を吸い込まぬように隙間を塞ぎ、試料採取カセット (0.2 μm Nuclepore Filter (1 段) + アルカリ含浸ろ紙 (3 段)) を連結し、ポンプを最後部に連結して空気を吸引した。化学分析にはイオン・クロマトグラフを用い、Nuclepore Filter からエアロゾルを、またアルカリ含浸ろ紙からは酸性ガスを分析した。試料空気採取量が数 10m³ あれば余裕を以て分析できるが、1-2m³ 程度に少ない場合は pg 量の分析に近くなるので特別の配慮を要する。しかし、試料量を多くする事は試料の採集範囲を広げる事に繋がり、一概に良い事とは思われない。

結果 ドーム F (1999) (2000 年に本シンポジウムで報告) 最初の試験的なサンプリングであり、従来の報告で予想されていたように、気体の化学成分が積雪中を移動するかどうか注目した。

亜硝酸 (NO₂) : 大気中にもフィルンエア中にもエアロゾルは存在しないが、ガス状の NO₂ は 12-2 月に大気中で 200ng/m³ に達し、雪面下 60cm のフィルンエ

ア中でもほぼ同じ濃度であることが見い出された。

硝酸(NO_3)：ほぼ亜硝酸(NO_2)と同様な変化を示すが、最高濃度はそう高くない。フィルンエア中でガスよりもエアロゾルのほうが濃度が高い。

塩素(Cl)と硫酸(SO_4)：フィルンエア中に見い出される事もあるが、確かではない。

これらの結果からは、フィルンエアからこれらの成分が流出したのか、またはその逆であるのか結論出来ない。

グリーンランド(2000) 亜硝酸ガス(NO_2)：積雪表面から 50cm および 100cm の深度で、それぞれ 0.36 および 0.44 ng/m^3 の亜硝酸ガスを見い出したが、積雪表面上 20cm の空気よりも明らかに高い濃度であった。また痕跡の塩化物(Cl)をおよび硫酸(SO_4)検出したが、有意の量であるとは判断できなかった。

YB85(2001) 積雪表面より深度 70.81m までの 13 層でフィルンエアを採取し、各化学成分のガス態、エアロゾル態および 108m ピット中の濃度を対比した。

亜硝酸(NO_2)：フィルンエア中では殆どガス状で存在し、エアロゾル態および積雪中では検出出来ない。垂直分布は複雑で大気との間の交換は極く表面に限られ、雪との直接の交換も無いと思われる。

硝酸(NO_3)：ガス態の硝酸は存在せず、約 12m 以浅に 100ng/m^3 のエアロゾルが存在する。積雪中の硝酸が同じ深度で 30ppb の低い値を保っているのと良く対応している。積雪表面付近で硝酸濃度が低下するのは、エアロゾル態での移動に依るのかもしれない。

塩化物(Cl)：70mの全域に涉ってガス状およびエアロゾルとして存在し、エアロゾルの方が濃度が高い。

硫酸(SO_4)、MSA (メタンスルホン酸)：不規則にガス状の硫酸が存在し、エアロゾルは存在しない。ガス状およびエアロゾルの MSA は検出出来なかった。

ナトリウム(Na)、カリウム(K)：予想に反して、共にエアロゾルが存在する。

結語

塩化物、亜硝酸その他につき、ガス態の存在が確かめられた。それが積雪表面から大気中に拡散する可能性は高いが、積雪との間の交換については明らかではない。

塩化物、硝酸、ナトリウム、カリウム等のエアロゾルが存在し、堆積後の化学成分の移動に重要な役割を果たしていると思われる。しかしその生成のメカニズムは断定出来ない。

ドームふじコアを用いた氷期、間氷期の短周期イオン濃度変動の比較

Comparison of short-term fluctuations between soluble ions in the last glacial and Holocene periods of the Dome Fuji ice core.

飯塚芳徳(弓削商船高専), 高田守昌(北大低温研), 本堂武夫(北大低温研), 藤井理行(極地研)

Y. Iizuka(Yuge National College for Maritime Technology), M. Takata(ILTS), T. Hondoh(ILTS) and Y. Fujii(NIPR)

Abstract: We examined profiles of soluble ions in the Dome Fuji ice core with a spatial resolution of 2 mm. Our analyses suggest that 1) re-distribution of ions in snow affects some ion profiles and 2) a reaction of volatile anion with dust affects the profiles of the Ca^{2+} and NO_3^- during last glacial period. Na^+ , Mg^{2+} , and SO_4^{2-} during Holocene period may preserve their seasonal signal.

1. はじめに

ドームふじコアは過去 32 万年前までの古環境情報を有し、氷期-間氷期変動を初めとするさまざまな環境変動が報告されてきた。環境変動解析にはコア中の溶存イオン濃度が用いられる。しかし、季節変動などの短周期変動は溶存イオン濃度の分析が困難であるため、あまり報告がない。本研究ではドームふじコアのイオン濃度を数 mm 厚ごとと分析し、短周期変動について考察した。

2. 分析方法

短周期イオン濃度変動を検出するため、イオンクロマトグラフィーを用いてイオン濃度(Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , F^- , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , NH_4^+)を分析した。表面積雪 3.4m を 20mm 厚ごと、約 50cm 厚の間氷期のコアを 2 本(平均深さが 119.5、298.6m)、氷期コアを 1 本(587.9m)それぞれ 2mm 厚ごとと分析した。これらのコアはそれぞれ、5~6k, 10~11k, 25~26kBP に相当する。

3. 分析結果

a)表面積雪、b)119.5m コア、c)298.6m コア、d)587.9m コアの Na^+ 濃度の平均値は a)1.13, b)1.68, c)1.07, d)5.27 $\mu\text{mol/l}$ 、 Ca^{2+} 濃度の平均値は a)0.13, b)0.20, c)0.13, d)3.77 $\mu\text{mol/l}$ 、 Cl^- 濃度の平均値は a)1.78, b)1.90, c)1.30, d)5.65 $\mu\text{mol/l}$ 、 NO_3^- 濃度の平均値は a)0.65, b)0.18, c)0.41, d)1.82 $\mu\text{mol/l}$ 、 SO_4^{2-} 濃度の平均値は a)1.19, b)0.95, c)1.08, d)6.21 $\mu\text{mol/l}$ であった。すべてのイオン濃度プロファイルに数 mm~数 cm 幅の振幅が見られた。

4. 考察

・イオン濃度

氷期コア(587.9m)のイオン濃度は表面積雪や間氷期コ

アの濃度と比較して高い。氷期コアと間氷期コアのイオン濃度の平均値比(LGM/Holocene)は Ca^{2+} で 24.6、 Mg^{2+} で 14.2、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ などで 4~5 である。 Ca^{2+} や Mg^{2+} の濃度比の増大は大陸起源ダスト量の増加が原因と考えられる。

・相関係数

陽イオンと陰イオンの間の相関係数を調べた。表面積雪において相関係数が 0.7 以上のものはない。間氷期のコア(119.5m、298.6m)において相関係数が高いのは Cl^- - Na^+ (0.71), Cl^- - K^+ (0.71), SO_4^{2-} - Na^+ (0.94), SO_4^{2-} - Mg^{2+} (0.96)である。氷期のコア(587.9m)において相関係数が高いのは Cl^- - Na^+ (0.83), NO_3^- - K^+ (0.75), NO_3^- - Ca^{2+} (0.78), SO_4^{2-} - Mg^{2+} (0.68)である。119.5m のコアは close offをしてすぐのコアであり、間氷期のコア(119.5m、298.6m)で相関の高さに顕著な違いはない。この結果は間氷期コアの相関の高いイオン対が積雪中のイオンの移動によって生じたことを示唆する。氷期コアで見られた相関の高いイオン対のうち、 NO_3^- - K^+ 、 NO_3^- - Ca^{2+} は間氷期のコアでは相関が低い。氷期コアには高濃度のダストが含まれるため、揮発性陰イオンがダストに固定し、これらのイオン対が生じたと考えられる。

・季節変化

数 mm~数 cm 幅の振幅が年層厚に等しいか調べた。フーリエ変換により振幅の卓越周期を求めたところ、間氷期コア(298.6m)の SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 Mg^{2+} プロファイルに年層厚と等しい 26mm の卓越周期が得られた。間氷期のコアの SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 Mg^{2+} プロファイルは季節シグナルを有している可能性が高い。

H72 および Dome South の浅層コアにおける化学成分濃度詳細分析

鈴木啓助・安斎香(信州大学理学部)・五十嵐誠(国立極地研究所)

Detail analysis of H72 and Dome South ice cores in Antarctica

Keisuke SUZUKI, Kaori ANZAI (Shinshu Univ.) and Makoto IGARASHI (NIPR)

We analyzed ion concentrations of shallow ice cores drilled at H72 and Dome South in East Queen Maud Land by the Japanese Antarctic Research Expedition. The shallow ice core study is a part of the ITASE (International Trans-Antarctic Scientific Expedition) program, which is an international effort to obtain paleoclimatic records and clarify past environmental changes during the last few hundreds years in the Antarctica. We will report the results of detail analysis of both shallow ice cores.

1. はじめに

南極氷床コアは人間活動の影響を受けることが少なく、長期間にわたる過去の大気環境に関する記録を保存している優れた試料である。南極氷床コアから過去の環境変動を復元するうえで、氷床コアの年代決定が課題の一つとされている。層位や ECM から年層を抽出しそれに基づいてコアの年代を決めたり、化学成分濃度詳細分析によっても年代決定が行われている。本研究では、H72 コアについて化学成分濃度の詳細分析から年層を抽出することにより年代を決定し、火山噴火が記録されていると推定された層について、その年代決定の妥当性を検討した。さらに、Dome South コアのイオン濃度変動と H72 コアの比較を行った。

2. 研究方法

国際南極横断観測計画 (ITASE) の一環として JARE38 が採取した Dome South コアと、JARE39 が採取した H72 コアを使用した。H72 コアおよび Dome South コアは、融解時に 10 ~ 20ml 程度得られるように深度方向に 4 ~ 10 cm ごとに切断し、汚染を除去するために純水で洗浄されたセラミックナイフで表面を削り落とした。汚染除去した後のサンプルを、洗浄済融解容器に移しクリーンルーム内で融解し、分析の直前までポリビンに入れ冷凍保存した。融解した試料について電導度と pH を測定し、陰イオンと陽イオン濃度は、それぞれイオンクロマトグラフ (DIONEX: DX-320, DIONEX: DX-500) を用いて測定した。これらの分析はすべてクリーンルーム内で行った。

3. 結果

H72 コアでは、大気中の MSA 濃度が明瞭に季節変化し、夏季に濃度が高く冬季に低くなることから、MSA 濃度のピークが現れる層をその年の 1 月として年層を抽出した。MSA のピークが複数回現れる年やピークが明瞭に見られない年には、Na⁺濃度が低くなる層を 1 月とした。ここで抽出された年層を表層から順に数えることによりコア年代を決定した。

火山噴火が記録されていると考えられる層の推定は次の手順により行った。① SO_4^{2-} 濃度が全体の平均値に 2σ を加えた値を越え、②かつ H^+ 濃度が平均値より高く、③ MSA 濃度が平均値より低い層を火山噴火記録層とした。年層から決められたコア年代と火山噴火年を比較すると 1 ~ 3 年程度のタイムラグがみられる。火山起源物質が南極氷床上まで輸送される時間を考慮すると、この程度のタイムラグがあると思われるので、化学成分濃度の詳細分析から決定されたコア年代は妥当であると考えられる。

○谷川 朋範 (筑波大学大学院), 青木 輝夫 (気象研究所), 八久保 晶弘 (北見工業大学),

堀 雅裕 (宇宙航空研究開発機構), 阿部 修, 望月 重人 (防災科学技術研究所), 安仁屋 政武 (筑波大学地球科学系)

Comparison between observed spectral albedo and theoretical one for artificial snowpack

Tomonori TANIKAWA, Teruo AOKI, Akihiro HACHIKUBO, Masahiro HORI, Osamu ABE,

Shigeto MOCHIZUKI and Masamu ANIYA

Abstract: To investigate the effects of laboratory simulating system on snow albedo, Monte Carlo radiative transfer model (MC-RTM) is applied in the Cryospheric Environment Simulator which consists of artificial snowpack and light source. MC-RTM are based on the Monte Carlo method for multiple scattering, combined with Mie theory for single scattering. This model also takes into account (1) the effects of the shadow of the white reference standard over snow surface, (2) the fact that incident light is finite, and also not parallel, and (3) that the snow surface is not infinite. The theoretically calculated albedo in the near-infrared region is compared with the observed one. The estimated snow grain size is consistent with the results of in-situ-measurements on the snow surface. However, in visible region the calculated albedo is higher than the observed one.

1. はじめに

積雪アルベド, 反射率は近年高精度のモデル化が行われるようになり, 積雪物理量との対応関係も分かってきた. この放射伝達モデルは衛星搭載光学センサから積雪物理量を推定するためのリモートセンシングアルゴリズムにも適用されている. 筆者らは積雪粒子の光学特性を明らかにすることを目的として, 2000年3月と8月に防災科学技術研究所長岡雪氷防災研究所新庄支所, 雪氷防災実験棟 (CES) において, 氷球状の人工積雪の波長別アルベドの測定を行い, CESの実験装置の構造をモデルに組み込んだ積雪放射伝達モデルと比較した.

2. 分光測定

測定に用いた個々の積雪粒子の直径は $30\ \mu\text{m}$ 以下, 凝集した粒子の集団の大きさ (半径) は $100\ \mu\text{m}$ 以下, 積雪の密度は $0.155\ \text{g/cm}^3$ (雪面下 0 - 3 cm), 積雪深 d は 33 cm であった. 雪面からの光源の高さ H を変えることで, その効果を調べた. 測定に用いた分光器は米 ASD 社製 FieldSpecFR で, 測定範囲は $\lambda = 0.35 - 2.5\ \mu\text{m}$ である. 波長別アルベドの測定は実験テーブルのほぼ中央に標準白色板 (WRS) を $h = 10\ \text{cm}$ の高さにセットし, WRS からの上向き, 下向き反射光を測定した. 図 1 に日射装置 (光源: 300 W), 実験テーブル, 観測場所の位置関係を示す.

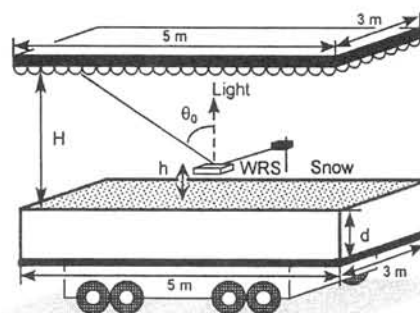


図 1: CES 実験装置 ($H = 3.3\ \text{m}$, $h = 10\ \text{cm}$)

3. モンテカルロ放射伝達モデル (MC-RTM)

多重散乱放射伝達モデルは積雪粒子に球形を仮定し, 一次散乱に Mie 理論, 多重散乱はモンテカルロ法を適用した. photon は CES の光源の指向性を考慮して射出させた. 実験テーブルに入射した photon は約 1000 万点である. 入射角 θ_0 , 方位角 ϕ_0 で雪面に入射した photon は, ビアの法則 (Beer's law) に従うように一様乱数を用いて積雪内を進む光学的厚さを決め, photon がその厚さに到達したとき吸収, もしくは散乱が起きるようにした. 積雪内での photon の吸収確率は Mie 理論で計算した単一散乱アルベドとし, また散乱した photon の散乱方向は位相関数に従うよう一様乱数を用いて決めた.

photon の多重散乱過程は photon が積雪粒子に吸収, あるいは雪面に出てくるまで続けた. photon が降雪テーブルの底面, および側面に到達したときは,

実測した実験テーブルの反射率をもとに一様乱数を用いて photon を反射, 吸収させるようにした. なお波長別アルベドは光源から WRS に入射する photon の数と雪面から WRS に入射する photon の数の比で定義する.

4. 結果と考察

図2に光源が雪面に対して真上にある時に測定された球形粒子の波長別アルベドの値と, 平行平板の積雪を仮定した放射伝達モデル (PP-RTM) (Wiscome and Warren, 1980: *J. Atmos. Sci.*, **37**(12), 2,712 - 2,733) で計算した波長別アルベドの値を示す. PP-RTM と比較すると, 積雪アルベドは近赤外域において有効半径 $r_{eff} = 20 \mu\text{m}$ の積雪粒子とほぼ一致しているが, PP-RTM には実験装置の構造が考慮されていない. 測定された積雪アルベドは (1) 雪面に WRS の影ができる効果, (2) 光源が有限でかつ雪面に入射する光が平行光線でない, (3) 雪面が有限の大きさである, この3つの効果が含まれていると考えられるため, このような条件では平行平板モデルは実験室に適さないと考えられる.

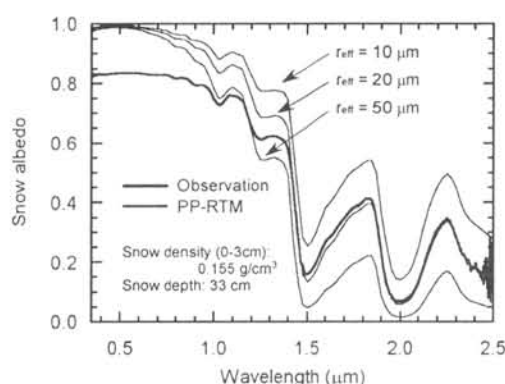


図2: 波長別アルベドの測定値, 及び PP-RTM による計算結果 ($r_{eff} = 10, 20, 50 \mu\text{m}$).

この現象を光源の指向性, 及び実験テーブル, WRS の位置, 大きさなどを考慮した MC-RTM で再現を試みた. 図3に WRS の高さ h を 0 - 40 cm の間で変化した時の $r_{eff} = 20 \mu\text{m}$ の波長別アルベドを示す. 波長別アルベドは WRS の高さ h によって変化しており, 0 - 10 cm ではアルベドが増加し, 20 cm 以降は少し減少している. これは光源から WRS に届く光の強さ, 雪面で反射して WRS に届く光の強さが WRS の高さによって異なるためである. 0 cm の低いアルベドは (1) の WRS の影の効果によるも

のと思われる. 20 cm 以降は (1) WRS の影の効果が相対的に低くなり, (2) の WRS が光源に近くなるため, WRS 上面から見た光源の視野角が増加する効果と, (3) の WRS 下面から見た雪面の視野角が減少する効果により, アルベドは次第に減少していくと考えられる.

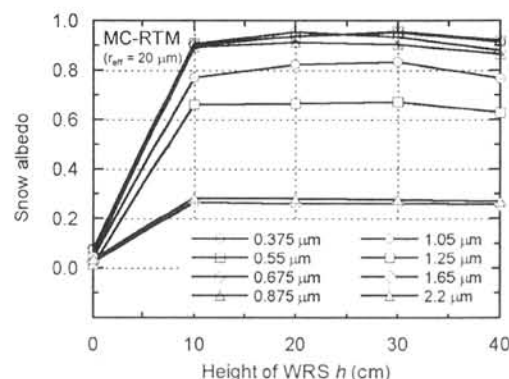


図3: WRS の雪面からの高さ h を変えた時の MC-RTM における波長別アルベド ($r_{eff} = 20 \mu\text{m}$).

図4に MC-RTM による波長別アルベド, 及び測定された波長別アルベド (WRS の高さ $h = 10 \text{ cm}$) の結果を示す. PP-RTM (図2) の波長別アルベドと比較すると, (1)-(3) の3つの効果を取り入れた MC-RTM の値は全体的に低下した. 積雪粒子の大きさに依存する近赤外域の積雪アルベドを MC-RTM の値と比較すると, 測定した積雪粒子は $r_{eff} = 20 \mu\text{m}$ 以下であることが示された. この値は断面観測結果の値 (積雪粒子の直径 $30 \mu\text{m}$ 以下) と矛盾しない. しかし, 依然として可視域では測定結果よりモデル計算の結果が高く, 他の要因を考える必要がある.

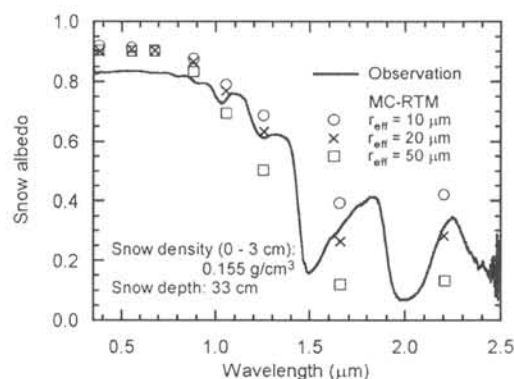


図4: 波長別アルベドの測定値, 及び MC-RTM による $h = 10 \text{ cm}$ の計算結果 ($r_{eff} = 10, 20, 50 \mu\text{m}$)

PI . 22 二値化変換と差分フィルタによる南極地表面の衛星画像の解析

一ノ瀬 一志、小林 雄二、菅 厚太郎、間 康雄、藁科 秀男 (仙台電波高専)

Analyze satellite image of the South Pole surface using by binary transformation and emboss filter

K.Ichinose, Y.Kobayashi, K.Suga, Y.Hazama, H.Warashina(Sendai National College of Technology)

There are crevasses in the South Pole surface. They are various sizes, conditions and forms. For example, one type of crevasses is covered by snow and camouflaged like a plain. If people walk on it, they drug down even snowmobiles. So it is very dangerous. Using the satellite image of the South Pole surface, our team researches for the detection of crevasses. The data is observed by JERS-1(Japanese Earth Resources Satellite-1) on 15 January in 1994. We detected the crevasses using by binary transformation and emboss filter.

1. 背景

南極地表面を覆っている氷床にはクレバスというものが存在する。クレバスとは大陸氷床の割れ目の総称で、数十 cm 程度のものから数 km にわたるものまで大きさは様々である。衛星画像等でははっきり確認できるものもあれば、ヒドゥンクレバスといって表面にスノーブリッジがかかりカムフラージュされているものなど様々な形状・形態である。我々はふよう 1 号 (JERS-1 (Japanese Earth Resources Satellite-1)) で得られた 1994 年 1 月 15 日の南極昭和基地付近のデータを用いて、二値化処理と輪郭検出に有効な差分フィルタによってクレバスの分布状態を解析した結果を報告する。

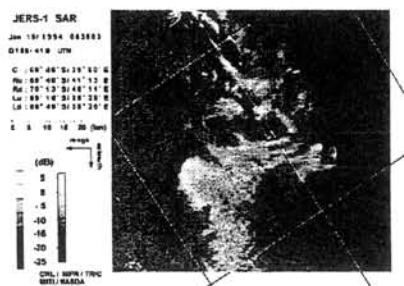


図 1 南極昭和基地付近の衛星画像

2. 実験方法 1 (二値化)

二値化とは画像をレベル値表示になおし、それを参考に閾値を求め代入された閾値と画像のレベル値を比較し、閾値以下のレベル値を白、閾値以上のレベル値を黒として表示するものである。周囲の氷床よりもレベル値の高いクレバスを検出するのに適しているといえる。

今回、二値化するにあたって作成したプログラムは入力した画像を自動的にレベル値表示に直し、それをもとに自動的に閾値を決定、閾値に従って二値画像を構成するようにした。

図 2 に今回使用した原画像を示す。この原画像に二値化処理を行うと、図 4 のようなヒストグラムが得られる。このヒストグラムより閾値を求め、二値化した画像は図 3 のように表示される。

しかし、この場合の閾値は図 4 に示す矢印の部分の飛びぬけた部分となり全体的に画像が暗くなりクレバスが鮮明に表示されないことがわかる。そのため、この画像を補正してより鮮明にしてやる必要性が生まれる。

二値化処理の後にヒストグラムを正規分布に近似させ、そのヒストグラムをもとに画像を再度構成する処理を行った。その結果、図 4 のヒストグラムは図 6 のような正規分布に近いヒストグラムに補正され、画像も図 3 から図 5 のようなはっきりとした画像になることがわかる。

3. 実験結果 1 (二値化)



図 2 原画像

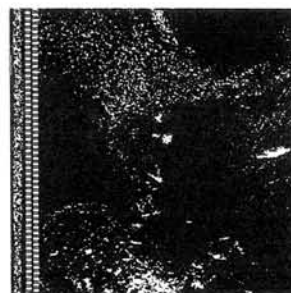


図 3 処理後

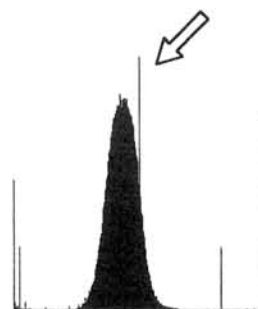


図 4 ヒストグラム



図 5 補正後の画像



図 6 補正後のヒストグラム

4. 実験方法 2 (差分フィルタ)

画像の中にある領域の境界、氷床とクレバスではレベル値の変化が大きいという特徴がある。このことから関数の変化分を取り出す微分演算が境界の検出に利用できることがわかる。注目画素の近傍のレベル値の変化の大きさを微分演算を用いて検出し、クレバスと氷床の境界を探す。パソコン上では微分演算の代わりに差分演算を用いるので差分フィルタと呼ばれている。

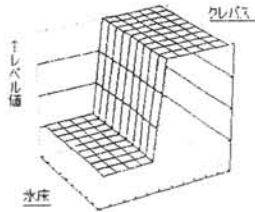


図7 レベル値の変化

クレバスのレベル値は氷床よりも高いので図7のように境界で差が生じる。このレベル値の変化を1次微分フィルタを用いて検出した。使用したオペレータを以下に示す。

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

図8 水平方向1微分

0	1	1
-1	0	1
-1	-1	0

図9 エンボスフィルタ

図8は典型的な1次微分フィルタのオペレータである。画像を3×3のマスキに区切ってオペレータを適用していくと出力となる中心画素 $g(i,j)$ は以下ようになる。

$$g(i,j) = (-1)*f(i-1,j-1) + f(i+1,j-1) + (-1)*f(i-1,j) + f(i+1,j) + (-1)*f(i-1,j+1) + f(i+1,j+1)$$

このフィルタはX方向(水平方向)に対して微分演算を行っている。これによりX方向のレベル値の変化を検出することができる。つまりX方向の変化が大きいところ、Y方向(垂直方向)の境界を強調することになる。

図9は微分演算を315度方向に対して行うフィルタであり、一般にエンボスフィルタと呼ばれるフィルタである。水平方向1次微分フィルタと同様に出力となる中心画素 $g(i,j)$ は、

$$g(i,j) = f(i,j-1) + f(i+1,j-1) + (-1)*f(i-1,j) + f(i+1,j) + (-1)*f(i-1,j+1) + (-1)*f(i,j+1)$$

となる。

このフィルタは境界を凹凸として表現することができるため、クレバスを探すのに有効だと考えられる。また、エンボスフィルタの効果を見やすくするため、背景色としてレベル値128を加算した画像も同時に作成した。

5. 実験結果(差分フィルタ)

差分フィルタをかけた結果を下に表す。

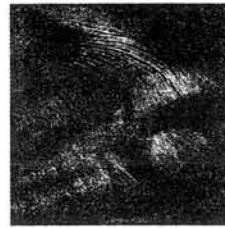


図10 原画像



図11 水平方向1次微分

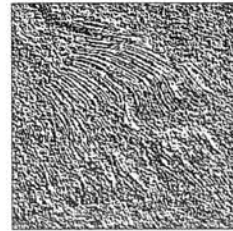


図12 エンボスフィルタ



図13 エンボスフィルタ(背景色あり)

エンボスフィルタではレベル値の変化の大きい部分、つまり氷床とクレバスの境界が凹凸として表現されていることがわかる。図13はその効果を見やすくするために背景色としてレベル値128を加算した画像である。

6. 結果と考察

実験結果より、二値化処理を行うことによりクレバスの形状が精密に検出されているのがわかった。しかし、二値化の場合、他の雑音も一緒に検出されてしまう。そこで、ヒストグラムを正規分布に近似させることでより鮮明にクレバスを検出することができた。

差分フィルタのひとつであるエンボスフィルタは、氷床とクレバスの境界を凹凸として確認することができたので、クレバスの検出にも有効な方法であると考えられる。

今回は一つの画像データで処理を行ったが、場所、時間、サイズを変えていくと、結果が変わっていくかもしれない。

7. 参考文献

- 安居院 猛・中嶋 正之:『画像情報処理』 森北出版
- 飯坂 褒二/日本写真測量学会:『合成開口レーダ画像ハンドブック』 朝倉出版
- 田丸 秀行:『コンピュータ画像処理 応用実践1,2』 総研出版
- 河西 朝雄:『入門ソフトウェアシリーズ1 C言語』 ナツメ社
- 八木伸行・井上誠喜・他 共著:『C言語で学ぶ実践画像処理』 オーム社

85GHz 輝度温度データによる南極昇温現象の検出と検証

高橋 伸尚[†] 畑中 雅彦[†] 平沢 尚彦^{††} 和田 誠^{††}

[†] 室蘭工業大学

^{††} 国立極地研究所

Detections of air temperature sharply rising areas in Antarctica
using 85GHz brightness temperature

N.Takahashi^{*}, M.Hatanaka^{*}, N.Hirasawa^{**}, M.Wada^{**}

^{*}Muroran Institute of Technology

^{**}National Institute of Polar Research

Abstract

In Antarctica, 85GHz brightness temperature observed by DMSP satellite has good correlation with air temperature on the ground. So, we presumed daily air temperature distribution from 85GHz brightness temperature distribution.

In this paper, we detected the areas where our presumed air temperature sharply rose and verified by comparison with maps of unfiltered 500hPa geopotential height.

1 はじめに

我々は DMSP 衛星に搭載のマイクロ放射計 SSM/I で観測される輝度温度データを用いて、南極大陸の気温分布を求める研究を行っている。これまでの研究 [1] で、85GHz の輝度温度データから日単位の地上気温分布を推定することが可能であり、さまざまな観測点における気温の推定も良好な結果となっている。またドームふじ基地において、昇温現象の際の気温推定についても精度の良い結果が得られている [2]。しかし南極大陸の観測点は点在しているため、観測点の近傍でも同様の現象が起こっているかどうかは不明である。

そこで本研究では、輝度温度データから南極大陸全土の地上気温分布が日単位で推定可能なことを活用し、気温が上昇している地域の規模や変化を視覚的にとらえることを試みた。

今回、昇温現象を記録した観測点の一つである、1997 年のドームふじ基地周辺に関して検討をし、検証したので報告する。

2 昇温現象について

昇温現象とは、真冬の南極域において、数日間に数十度以上も気温が上昇する現象のことである。この現象には暖気の移動が関係していると考えられている [3]。

3 検出方法

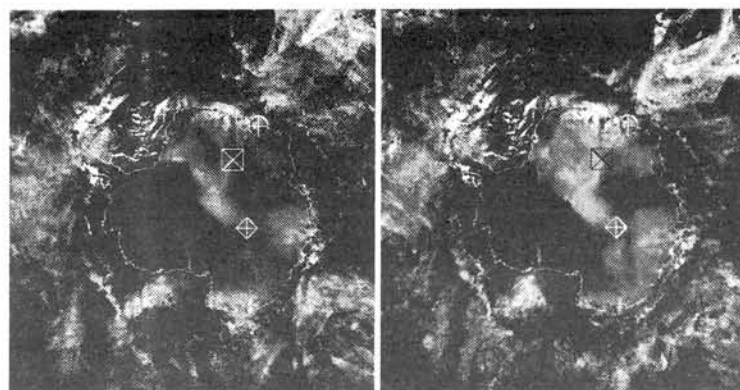
まず輝度温度データから推定した地上気温分布を用いて、全ピクセルにおいて推定気温の前日との差を計算する。そして気温差が正の場合には差に比例して画素値を大きくする。こうして日単位の気温差分布を求め、気温が前日よりも上昇している地域をとらえる。

4 結果と検証

1997 年の 6 月 16 日から 19 日までの気温差分布を図 1-1 に示す。また図 1-1 であげた各観測点の地上観測気温を図 1-2 に示す。

図 1-1 より、気温の上昇している地域がドームふじ基地 (図) の右上方から下方へ移動しているのが確認できる。また図 1-2 より地上観測気温は、細かな変動を除くと、昭和基地 (⊕) では 11 日から 18 日、ドームふじ基地 (図) では 12 日から 19 日、ヴォストーク基地 (◇) では 15 日から 20 日に、気温が上昇し続けている。これらのことから、気温差分布において気温上昇地域の移動をとらえることが可能であると言える。

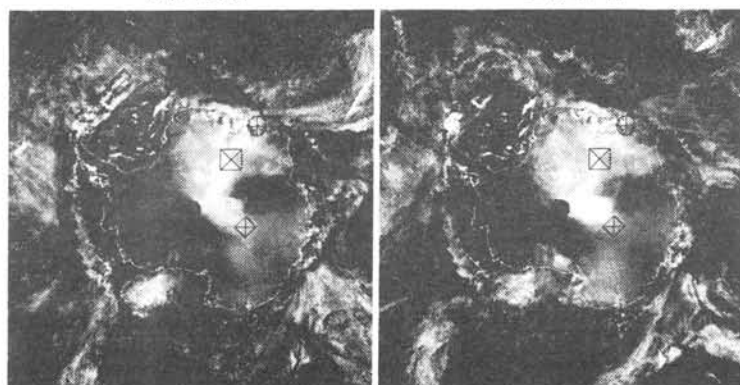
また、500hPa の高度を等値線で表した分布図を図 2 に示す。図中の H は高気圧領域、L は低気圧領域とみなすことができる。南半球において、大気は高気圧の周りでは反時計回りに、低気圧の周りでは時計回りに流れている。16 日には南極大陸の周囲を流れていた大気が、18 日



6月16日

6月17日

0 10 20 30 [°C]



6月18日

6月19日

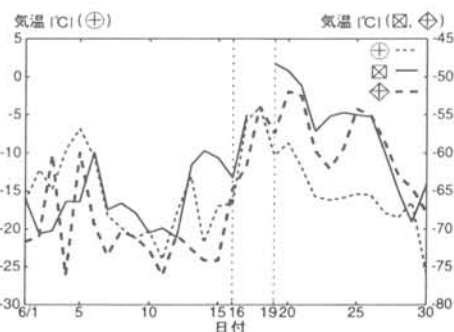


図 1-1. 1997 年 6 月 16 日から 19 日の推定気温差分布 図 1-2. 1997 年 6 月の各観測点の地上観測気温 (⊕: 昭和基地, ⊗: ドームふじ基地, ⊕: ヴォストーク基地)

Z500 1200UTC 16 June, 1997 Z500 1200UTC 18 June, 1997 Z500 1200UTC 20 June, 1997

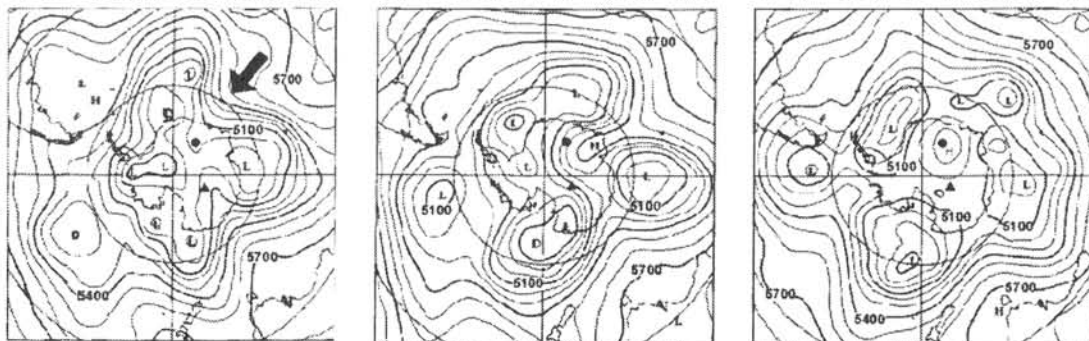


図 2. 1997 年 6 月 16 日, 18 日, 20 日の 500hPa の高度場 [m] (●: ドームふじ基地, ▲: ヴォストーク基地)

にはドームふじ基地 (●) の付近で大陸の内部へ侵入している。また 20 日には大陸上空に高気圧領域が存在し、大気がとどまっていると考えられる [4]。

以上より、気温上昇地域の移動と大気の流れを照らし合わせると一致することから、気温上昇地域の移動は、暖気の移動と関連づけることができる。

5 まとめ

結果より、気温上昇地域の移動を視覚的にとらえることは可能であり、気温上昇地域の移動を暖気の移動とみなすことができるとされる。

参考文献

- [1] 佐々木, 畑中, 板倉, 和田, 平沢: マイクロ波輝度温度画像からの南極の気温分布推定 (3), 平成 11 年度電気関係学会北海道支部連合大会講演論文集, pp.191-192, (1996)
- [2] 三箇, 畑中, 平沢, 和田: マイクロ波輝度温度画像からの南極の気温分布推定 (6), 第 25 回極域気水圏シンポジウム講演要旨, pp.115-116, (2002)
- [3] 平沢, 中村: 東南極上でのブロッキングの形成とドームふじ観測地点の気象, 第 21 回極域気水圏シンポジウム講演要旨, pp.78-79, (1998)
- [4] Hirasawa, N., H. Nakamura and T. Yamanouchi: Abrupt changes in meteorological conditions observed at an inland Antarctic station in association with wintertime blocking, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL.27, pp.1911-1914, (2000)

Ⅲ. 1

南極海 110-140E セクターにおける AMSR/AMSR-E 検証海水観測

榎本浩之（北見工大）、館山一孝、田村岳史（北大）、武藤淳公、西尾文彦（千葉大）、
牛尾収輝（極地研）、R. Massom（タスマニア大学）

Sea Ice Observation for AMSR/AMSR-E Validation in the 110-140E Sector of the Antarctic Ocean

H. Enomoto (Kitami Inst. Tech.), K. Tateyama, T. Tamura (Hokkaido Univ.), A. Muto, F. Nishio
(Chiba Univ.), S. Ushio (NIPR) and R. Massom (Univ. of Tasmania)

New satellite sensors, AMSR-E and AMSR are available since 2002. These sensors are board on Aqua (EOS-PM) and ADEOS-II. Improved sea ice data have been produced by NASA and NASDA. To validate the sea ice data by AMSR/AMSR-E, ship observation using icebreaker Aurora Australis was carried out by Australian Antarctic Program, in October 2003. The observation area was 110-140E sectors of Antarctic Ocean, south of Australia. The observation was planned to obtain various ice types data in the colder season. By drifting with the sea ice field, temporal changes in ice condition were also planned to be observed. The outline of observation and preliminary results will be introduced.

2002 年の NASA の衛星 Aqua (EOS-PM) と NASDA の衛星 ADEOS-II に打上げにより、新しいマイクロ波放射計、AMSR-E 及び AMSR が利用可能になった。NASA、NASDA により海水観測データが作成されている。6～89GHz の 11 チャンネル、分解能 5 km [89GHz]、従来の DMSP 衛星の SSM/I とあわせると最大 1 日 6 回の観測など、新たな観測が期待できる。

この海水観測データの検証およびあらたな海水観測アルゴリズム開発のための基礎データ取得を目的として、2003 年 10 月にオーストラリアの砕氷船 Aurora Australis による観測が実施された。海水の拡大期において、多くの種類の海水を観測し、さらに西方に移動する海水域とともに航行することにより、海水域の変形と海水成長・消耗などの時間変化もあわせて観測することが計画された。予定観測域は 110-140E の範囲である（図 1）。日本からは 4 名が参加し、海水厚観測、海水表面状態、温度分布などの観測を目指した。この航海で実施された観測結果と新衛星センサーによって得られる海水データ及び利用について発表する。

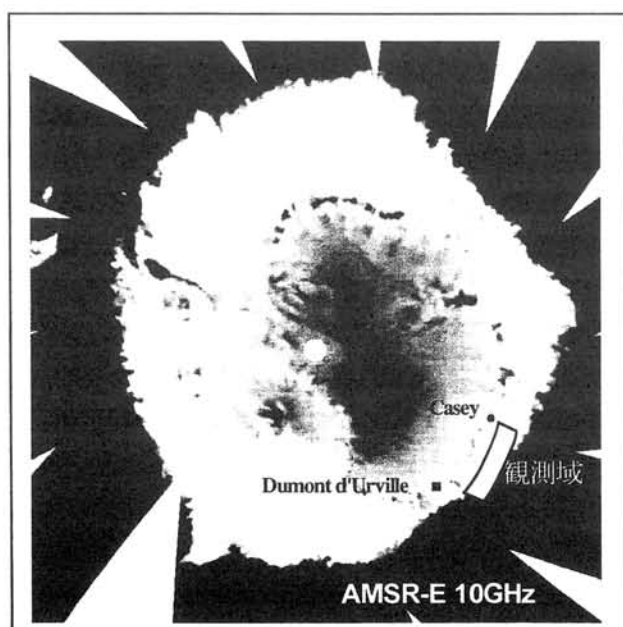


図 1 AMSR-E 10GHz(V) 2002 年 9 月
2 日の画像および 2003 年 10 月の観測
予定域
(AMSR-E データ: NASDA/EORC 提供)

Ⅲ. 2 ERS-2 によるリュツォ・ホルム湾の海水後方散乱特性把握

若林裕之(宇宙航空研究開発機構)

Annual backscattering trend of sea ice in Lützow-Holm Bay observed by ERS-2

HiroYuki Wakabayashi(JAXA)

Sea ice monitoring around Antarctic Syowa Station by using ERS-2 data has been conducted during wintering period of the 43rd. Japanese Antarctic Research Expedition. ERS-2 data were directly received at Syowa station and then processed for this purpose. Ground truth data were also acquired simultaneously with ERS-2 observations. This paper describes a preliminary analysis for both ERS-2 backscatter and ground data of sea ice in the Bay.

はじめに

第 43 次南極地域観測隊(JARE43)の越冬期間(2002 年 2 月から 2003 年 1 月)において、昭和基地周辺の海水を対象にして、ERS-2 データを使用した海水観測を実施した。ERS-2 データは昭和基地で定常的に直接受信していて、過去何年にもわたってデータが蓄積されている。

本報告では、2002 年の 2 月から 12 月にかけて受信された ERS-2 データを使用して、リュツォ・ホルム湾の海水について、後方散乱係数変化を解析した結果およびトルースデータの初期解析結果を示す。

ERS-2 データ

昭和基地で受信された ERS-2 データ(C バンド SAR データ)は D1 カセットに記録保存され、通常は越冬期間終了後に日本において処理される。越冬期間中に受信したデータを即時的に画像再生して解析を行うため、パーソナルコンピュータ上に SAR 画像再生処理を行うシステムの構築を行った。なお、SAR 画像再生処理には、ERS-2 のヨー軸制御不具合に対応できるように、ヨー軸角度推定機能を付加し、ドップラ周波数のアンビグイティを除去した。

SAR データから算出した後方散乱係数の精度については、昭和基地及びスカーレン露岩に設置したコーナリフレクタを使用したラジオメトリック校正を行って校正係数を算出した結果、一年を通じて 1.2dB という精度であった。また、幾何精度について予測軌道を使用した処理は十分な精度が確保できなかったため、GCP を使用した精密幾何補正を実施した。画像処理の例として Fig. 1 にリュツォ・ホルム湾全体のモザイク処理を行った SAR 画像を示す。

トルースデータ取得

昭和基地があるリュツォ・ホルム湾は、東経 38° から 40°、

南緯 69° から 70° に存在し、一年中海氷が存在する湾である。湾内を細かく見ると、湾南部から中央部にかけては、白瀬氷河や茅氷河の流出の影響で、棚氷や大きな氷山が多いが、大部分は積雪が多い多年氷である。しかし、湾北部は海水が不定期に流出する(Enomoto et al., 2002)ため、一年氷やリードが多い領域となっている。また、オングル海峡を含む湾東部の大陸沿岸部は、夏期間に完全に海水が覆われてしまう領域がある。以上、海水種類が多く、非常に興味深い領域となっている。冬期間は湾内の海水状態が安定するので、雪上車で移動することができ、JARE43 の越冬期間中に様々な海水に関するトルースデータを取得することが可能であった。

ERS-2 データとトルースデータをもとにして解析を行う領域を選定した結果、一年氷として沿岸付近の積雪の少ない領域 a(L21)を、多年氷として積雪の比較的小さい領域 b(SL30)と多い領域 c を対象した。データ解析を行った各領域を Fig. 1 上に示す。領域 a は昭和基地のある東オングル島の南東約 4km の地点であり、オングル海峡上にあり、JARE43 越冬期間中(4 月から 11 月にかけて)5 回にわたってトルースデータを取得した場所である。領域 b は昭和基地からスカーレンへ向うルート上にあり、JARE43 において 10 月から 11 月にかけて数回積雪および氷厚を計測している。領域 c は、大陸からかなり離れたところにあるため、雪上車でのアクセスは不可能であるが、ヘリコプタで多年氷のコアサンプルの採取を行った地点である。

領域 a のオングル海峡上のトルースデータ取得は 2002 年 4 月 22 日、7 月 18 日、8 月 22 日、9 月 26 日、及び 11 月 20 日の 5 回実施し、領域 b の南方ルート上では 2002 年 10 月 6-9 日、11 月 12-14 日の 2 回実施した。それぞれの主な観測項目は、積雪深、氷厚、表面粗度及び塩分濃度計測のための海水コア採取であった。なお、南方ルート上の観測では、海水コア取得

場所以外にもルート上 2.5km 間隔の積雪深及び氷厚観測を実施している。領域 c の地上データは、2003 年 1 月 15 日に夏オペレーションにて海水コア取得時にデータ取得を行った。

年間の後方散乱係数変化

領域 a, b, c のトレスデータ取得ポイントについて、ERS-2 で観測した後方散乱係数の変化を Fig. 2 にまとめる。図から、全ての領域で夏から冬にかけて後方散乱係数が減少することが判明した。また、一年氷と多年氷、積雪の多い多年氷と少い多年氷では、変化に差があることがわかる。多年氷でも積雪深の多い所は少ないところに比べて後方散乱が大きいが、年間を通した散乱の変化は非常に良く似ている。

Fig. 2 中の L21 地点は、3 月には開水域であり、海水の成長に伴う後方散乱係数の変化を把握するのに適した場所であった。オングル海峡は海水表面付近の塩分濃度が比較的高いため、海水表面の散乱が支配的であると推定される。従って、後方散乱が海水成長に伴って減少する理由としては、海水表面付近の誘電率の低下またはラフネスの減少と考えられる。

オングル海峡は昭和基地から 4km 程度しか離れていないので、昭和基地とほぼ同じ気温と考えられ、気温から計算される積算寒度と氷厚の関係を求めた結果を使用して、SAR データ取得日の氷厚を推定した。推定した氷厚と後方散乱係数の相関は非常に高いことがわかった。

まとめ

リュツォ・ホルム湾の多年氷および一年氷について、2002 年の 2 月から 12 月にかけて、ERS-2 で観測された後方散乱係数を抽出して傾向を調べた。

オングル海峡上の比較的薄い海水について、SAR で観測された後方散乱係数と氷厚は非常に高い相関を持つことがわかった。地上において取得したデータから判断すると、海水表面付近の塩分濃度は、海水厚さが増加すると減少する傾向があり、その誘電率の変化が SAR の後方散乱係数の低下につながっていると考えられる。一方、海水表面のラフネスは海水成長に伴って増加する傾向があることが観測された。これは気温低下に伴い、海水表面から昇華作用で水蒸気に変化しているためと考えられる。

今後は、地上で観測された結果を使用して、多年氷と一年氷の相違や海水の成長に伴う物理的な変化を取込んだ、後方散乱モデルを検討する予定である。

参考文献

H. Enomoto, F. Nishio, H. Warashina and S. Ushio, Satellite observation of melting and break-up of fast ice in Lützow-Holm Bay, East Antarctica, Polar Meteorology and Glaciology, No. 16, pp. 1-14, 2002.

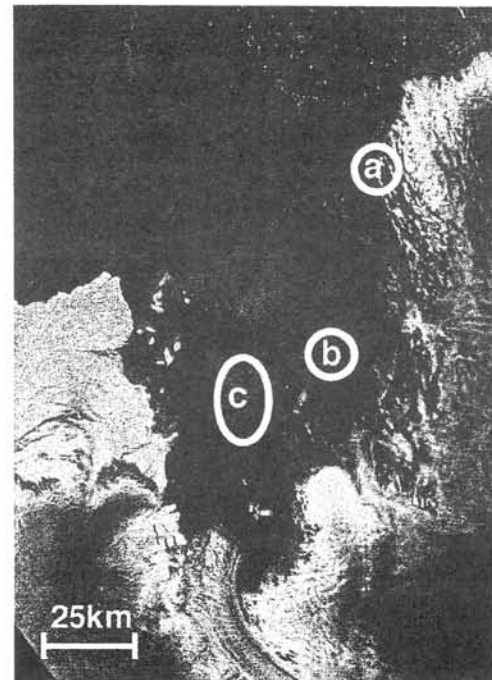


Fig. 1 Example of ERS-2 mosaic image for Lützow-Holm Bay

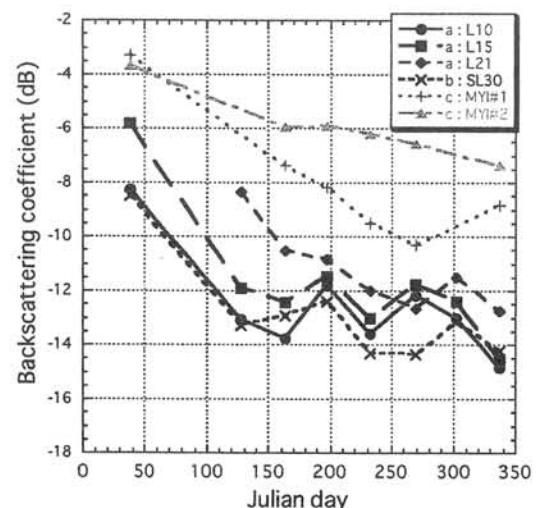


Fig. 2 Backscatter change of our test sites during JARE43 wintering period.

Ⅲ. 3 GLI 積雪プロダクトの解析と検証

堀 雅裕 (JAXA※/EORC), 青木輝夫 (気象研究所), 谷川朋範 (筑波大),
飯塚康子 (総研大), 本吉弘岐 (スペースサービス), 中島幸徳 (RESTEC)

Analysis of and validation of GLI snow products

M. Hori (JAXA※/EORC), Te. Aoki (Meteorological Research Institute), T. Tanikawa (Univ. of Tsukuba),
Y. Iizuka (The Graduate University for Advanced Studies), H. Motoyoshi (Space Service), Y. Nakajima (RESTEC)

The Global Imager (GLI) aboard the ADEOS-II satellite launched in December 14, 2002 observes sunlight reflection and infrared emission from the Earth's surface globally, and detects various geophysical parameters (e.g. snow and sea-ice cover extent, snow grain size and impurity). They will contribute to investigation of global hydrological cycle and radiation budget that are primal factors of the global climate change. This paper presents preliminary analysis results of the GLI snow products with a few months data and their validation results.

1. はじめに

2002 年 12 月に打上げられた環境観測技術衛星 ADEOS-II 搭載 GLI センサーが取得するデータからは、可視～熱赤外域の複数バンドを用いて、積雪・海水分布、積雪粒径、不純物濃度等が抽出される計画になっている。2003 年 4 月以降 GLI による連続観測が開始されるとともに、衛星データから抽出される積雪物理量の精度を検証する作業が開始された。本講演では、雪氷標準プロダクトの一つである積雪・海水分布ならびに積雪粒径・不純物濃度について、現在までに取得された GLI データの解析事例を紹介する。また、積雪・海水分布については SSM/I の準リアルデータとの比較を、一方積雪粒径・不純物濃度については 4 月に米国にて行われた地上検証観測結果との比較をそれぞれ行い、GLI 積雪プロダクトの抽出精度を検証した結果について報告する。

2. 衛星データ解析

GLI データの解析は、2003 年 4 月以降に取得された校正済み輝度 (Level-1B) データを使用した。本解析では、北半球中緯度以北が一つの画像に入る極投影済み輝度値データセットを作成し、これに対して GLI の 2 つの標準アルゴリズム (雲/晴天および積雪/海水識別処理アルゴリズム、積雪粒径・不純物濃度抽出処理アルゴリズム) を適用した。前者は、熱赤外域の輝度温度差、近赤外域の大気上端反射率などを画素毎に閾値処理することにより識別を行い、後者は、可視域および近赤外域の 2 チャンネルの大気上端反射率を用いて積雪層中の不純物濃度および積雪粒径を決定するものである。講演では、北半球の積雪・海水分布や積雪粒径など積雪物理量の空間分布を月毎に解析し、結果を示す予定である。

3. 解析データの検証

積雪・海水分布の検証には、SSM/I の NEAR REAL-TIME SSM/I EASE-GRID DAILY GLOBAL

ICE CONCENTRATION AND SNOW EXTENT を使用した。GLI データからは、8 日単位で雲除去、積雪・海水分布の抽出を行い、同じ期間に取得された SSM/I の積雪・海水分布との比較を行った。検証作業は現在も継続中であり、本講演にて、比較結果を示す予定である。

また、積雪粒径・不純物濃度の検証には、2003 年 4 月、米国アラスカ州バローにて行われた地上検証観測のデータを用いた。アラスカでの観測は、4 月 14～26 日の昼間、バロー近郊のツンドラ上積雪域 (71° 18' 28" N, 156° 37' 40" W) にて行われ、可視・近赤外～熱赤外光領域の雪面放射輝度、反射率 (放射率)、短波長・長波長域の放射収支、エアロゾル光学的厚さなどを光学測器にて取得し、また、積雪深、積雪類型、積雪粒径、密度などの物理量を積雪断面観測により取得した。観測期間中、衛星データは毎日 2 周回分以上が取得されたが、快晴のもとで地上との同期観測が実施できたのは 14 日および 26 日の二日間あった。地上観測の結果、気温の上昇に伴い、表層 10cm 内の積雪粒径が増加する傾向がみられ、衛星データから抽出された粒径データにも同様の傾向が認められた。また、地上観測値と衛星解析値との比較を行った結果、地上で計測した雪結晶の枝の太さが衛星データと最もよく一致した。

検証作業が終了した物理量については、来年以降、共同研究者 (PI) に対してデータ配布が開始される予定となっている。また、データ利用 PI の公募も行われる予定である (詳しくは次の URL に掲載される予定である。 http://www.eorc.jaxa.jp/index_j.htm)。

※宇宙開発事業団 (NASDA) は、2003 年 10 月 1 日に宇宙科学研究所 (ISAS)、航空宇宙技術研究所 (NAL) と統合し、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) になりました。

Ⅲ. 4 衛星近赤外データを利用した南極域の雲検出

門崎 学 (総研大)、山内 恭・平沢 尚彦 (総研大・極地研)

Cloud Detection in the Antarctic Using Near Infrared Data from Satellite

G. Kadosaki(The Graduate University for Advanced Studies),

T. Yamanouchi and N. Hirasawa(The Graduate University for Advanced Studies, NIPR)

Algorithm for detecting cloud type and amount from AVHRR data (NOAA-14) was created. SSM/I data (DMSP) was used to decide sea ice concentration per pixel. T4-T5 has useful information to detect cloud from snow/ice and open water. But there is limitation of small temperature difference because of each wavelength is very near. For improving the performance to detect cloud, investigation of the method using T3-T4 has been performed. It is difficult to estimate when T3 includes solar contamination over a period of months. We confirmed contamination period and cut off T3-T4 with solar contamination. From comparison of cloud distribution by T3-T4 and by T4-T5, this method can permit more precise algorithm to detect several types of cloud.

1. はじめに

南極域の雲の生成・分布は、海水分布に関係していると考えられる。雲と海水分布の時系列的な変動を得ることは、その相互作用・効果の解明に大いに役立つ。本研究は内陸、沿岸を含めた南極域の衛星赤外・近赤外データの輝度温度差から求めた雲分布とマイクロ波データから得られた海水密接度との関連について統計的に検討を行うためのアルゴリズムを作成した。

2. データ

昭和基地で受信している極軌道衛星 NOAA14 号 14:00UT 前後の AVHRR データから 1997 年 3 月～1998 年 1 月の可視・近赤外・赤外データ(チャンネル1～5)を用いて作成したデータセットを基に解析を行った。上記衛星パスにおける海水密接度は SSM/I(DMSP)データから得た。

3. 現在までの研究の流れ

これまでの研究(Yamanouchi et al., 1987)で、輝度温度差(T3-T4, T4-T5)から雲(雲粒状態[水/氷]・サイズ、光学的厚さ)の情報が得られることが示唆されている。また、衛星データによる晴天域放射特性の解析(Kadosaki et al., 2002)では、衛星データから南極域の雪氷面における T4-T5 の放射特性を調査し、雲と雪氷面の識別に役立つことが分かった。しかし、雪氷面と雲の温度が同程度の場合は雲の輝度温度差が小さくなるため識別は困難になる。本研究は、これらの赤外チャンネル同士の差に加えて近赤外

と赤外の差を利用し、雲の検出を行うアルゴリズムを開発した。

4. T3 データの利用

近赤外チャンネルの観測値(T3)は地球からの長波放射の他に太陽光の反射を含んでいるため、同じ状態の雪氷面であっても太陽光入射角によって大きく変化する。この太陽光の反射による変化を可視チャンネルALB1の変化から見積もり、概ねT3の推定が可能となった。しかし、T3データは衛星の検出器周辺へ太陽光が入り込むことが原因となり異常値を出力してしまうソーラーコンタミネーションといわれる現象が存在することがある(Changyong Cao et al., 2001)。ソーラーコンタミネーションが存在する期間を特定し、その期間の近赤外データを排除することで、雲検出アルゴリズムにT3-T4を適応した。

5. 結果

解析可能データ 288 衛星パスの雲量・雲種・海水密接度を算出し、雲分布図を作成した。図1は1997年12月23日の可視画像(a)と雲分布図(b)である。図に示した①はT3-T4、T4-T5で雲と識別できるエリア(白)、②はT3-T4、T4-T5で地表(海)面と識別できるエリア(黒)、③はT4-T5では雲に分類されないがT3-T4では雲と識別できるエリア(薄い灰)、④はT3-T4では雲に分類されないがT4-T5では雲と識別できるエリア(濃い灰)である。T3-T4を使った手法を追加することにより、T4-T5のみでは難しい③のような厚く広がる下層の雲(層雲)の識別が可能となった。T3の扱いには十分な注意が必要であるが、T4-T5に加えてT3-

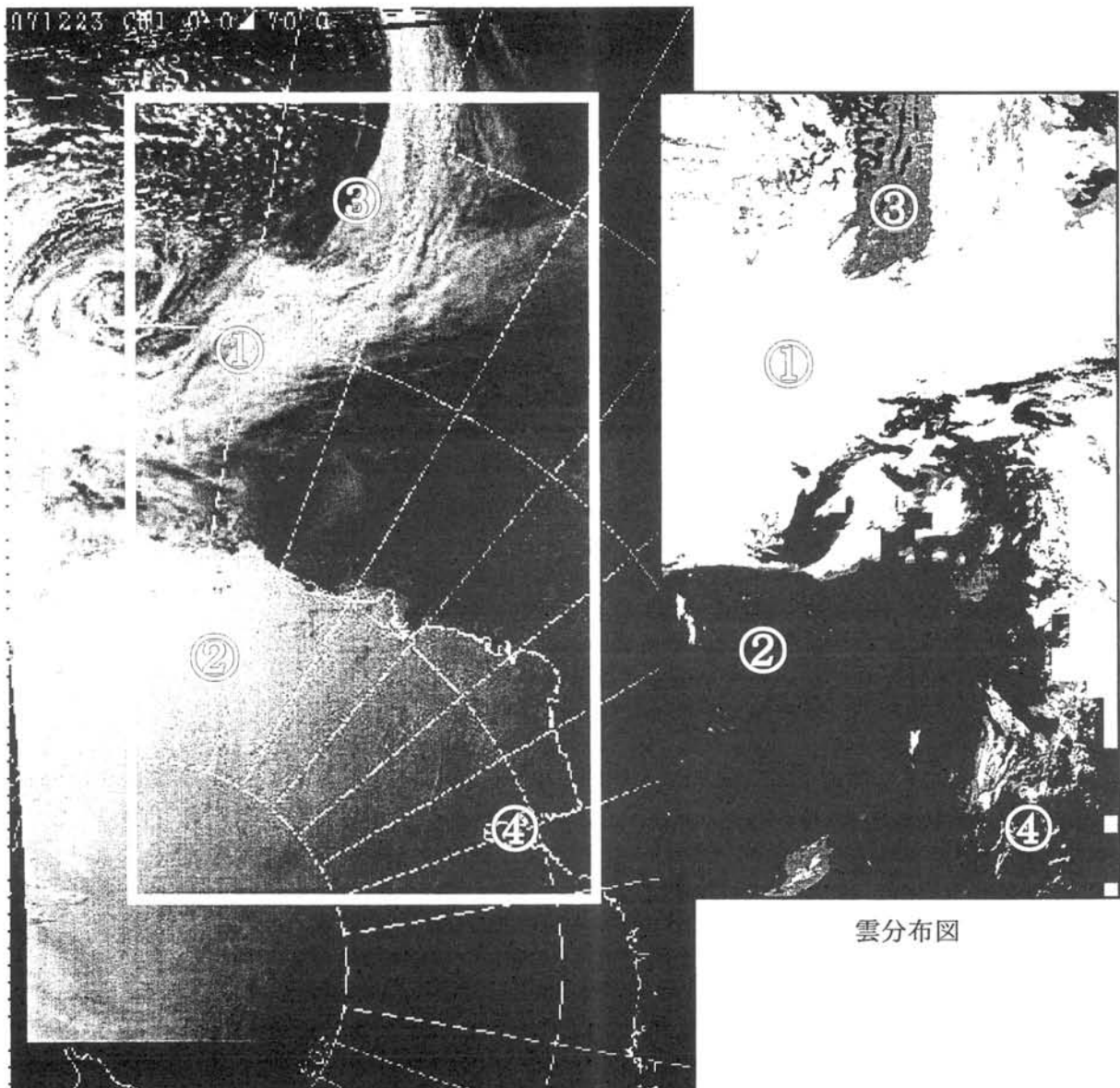
T4を使うことは雲検出アルゴリズムの向上に大いに繋がることが明らかとなった。今後さらに精度を上げるためには閾値の検討が必要である。(アルゴリズムの詳細はシンポジウムで説明致します)

参考文献

Yamanouchi, T., Suzuki, K. and Kawaguchi, S. (1987): Detection of clouds in Antarctica from infrared multispectral data of AVHRR, J. Meteorol. Soc. Japan, **65**, 949-962.
Kadosaki, G., Yamanouchi T. and Hirasawa, N.,

(2002): Temperature dependence of brightness temperature difference of AVHRR infrared split window channels in the Antarctic, Polar Meteorol. Glaciol., **16**, 106-115.

Changyong C., Michael W., and Jerry S. (2001): Solar contamination effects on the infrared channels of the advanced very high resolution radiometer(AVHRR), J. Geophys. Res., **106**, 33463-33469.



雲分布図

1997年12月23日14:00 可視画像 (ALB1)

Aerosol observation around Syowa Station, Antarctica.

Makoto Wada(NIPR), Satoshi Ihara(Saga Univ.), Haruya Shiba(Kochi National College of Technology)

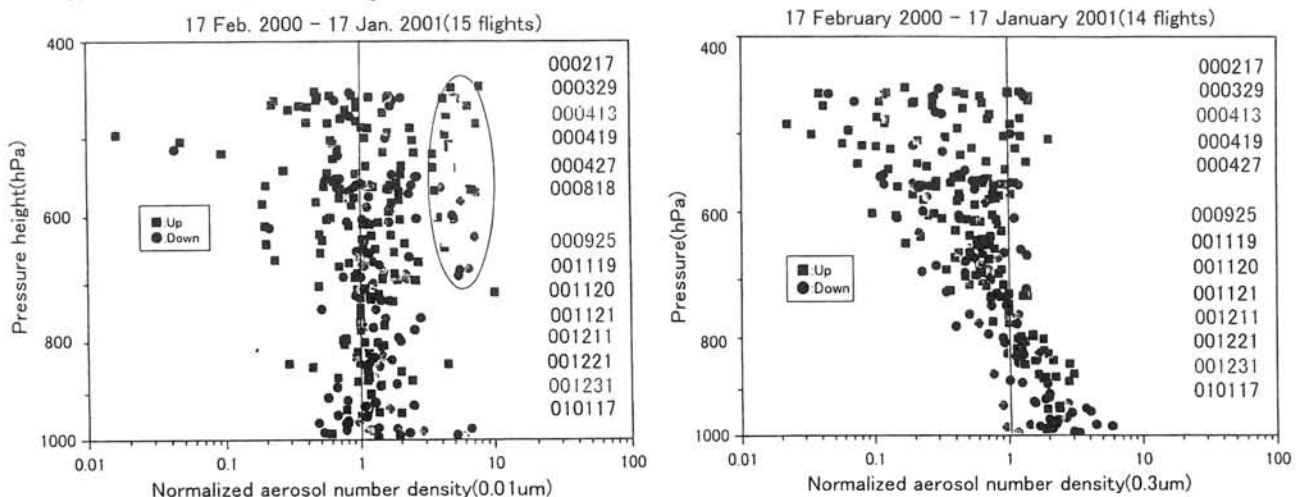
Aerosol number density was measured using aircrafts nearly twice a month except in the dark season from February 2000 to January 2001. Most of flight tracks were along a route of oversnow vehicle between Syowa Station and Mizuho Station(70°42'S, 44°20'E), because of limitations of cruising range of aircrafts. Flight altitudes of Pilatus PC-6 were normally at 20000 ft(6000 m) and 15000 ft(4500 m). Aerosol number densities were measured from a condensation particle counter, which can measure aerosols with a diameter more than 0.01 μm and from an optical particle counter, which can measure aerosols with diameter more than 0.3 μm . The difference of density profiles with height between them are shown in this presentation.

1. はじめに：2000年2月から2001年1月の期間、南極昭和基地でエアロゾル個数濃度の観測を行った。観測の概要についてはすでに紹介している。今回の発表では、エアロゾルの個数濃度の高度分布について紹介する。併せてその基礎データである昭和基地で観測されたエアロゾル個数濃度の季節変化について報告する。個数濃度の季節変化については、すでに多くの観測例がある。しかし、飛行機観測データを解釈する上で基礎となるデータであるので併せて報告する。

2. 観測結果

1) 航空機観測：通常の内陸飛行機観測では、昭和基地から 20000ft (6000m) まで上昇し、その後一定気圧高度で内陸へ向かい、ほぼ 250km 内陸の地点で U ターンして高度を 15000ft (4500m) まで下げ、再度一定気圧高度で沿岸まで飛行し、そこから下降し昭和基地へ着陸する、ルートで飛行する。図 1 は上記期間の観測から得られた、このルートの沿岸域の上昇中と下降中に得られた、エアロゾルの高度分布を全て示したものである。地上の通年の観測結果から見て、季節により個数濃度は変化するので、ある 1 日の観測データは、750hPa 付近のデータの値を 1 として他のデータを規格化して表してある。左側は 0.01 μm 以上の粒径のエアロゾル（以後エイトケン粒子と記す）についての図であり、右側は 0.3 μm 以上の粒径のエアロゾル（以後大粒子と記す）についての図である。観測に用いた機器はエイトケン粒子については、TSI 社の凝結粒子カウンター 3010 であり、大粒子については、シグマテック社の光学粒子カウンター TD200 である。

2) 地上観測：昭和基地でのエイトケン粒子の観測では、夏季に高い値、冬季に低い値を示していることが示されている。内陸の極点基地の観測などでは、冬季の個数濃度がほぼ 0 になることが、報告されていた。これらなどから、太陽光の強い夏は気体からの粒子の形成が促進される結果と考えられる。一方大粒子は、夏季に最も低い値を示している。秋、冬、春は時々高い値が示されている。このことはより低緯度からの擾乱の侵入に伴って大気中の滞留時間の長い大粒子が増えるものと考えられる。



IV. 2

春季北極対流圏中に存在する土壌性粒子の分布とその起源

原圭一郎¹・山内恭¹・A. Herber²・山形定³・猪股弥生⁴・岩坂泰信⁴・長田和雄⁴・富川善弘¹

佐藤薫¹・O. Schrems²・長谷正博⁵・中田滉⁵・平沢尚彦¹

(1:極地研、2:AWI、3:北大・工、4:名大院環境学、5:名大太陽研)

Vertical distributions and source area of mineral particles in the Arctic troposphere

K. Hara¹, T. Yamanouchi¹, A. Herber², S. Yamagata³, Y. Inomata⁴, Y. Iwasaka⁴, K. Osada⁴, Y. Tomikawa¹,
K. Sato¹, O. Schrems², M. Nagatani⁵, H. Nakata⁵ and N. Hirasawa¹

(1: NIPR, 2: AWI, 3: Hokkaido Univ., Eng., 4: Nagoya Univ., Env., 5: Nagoya Univ., STE-Lab.)

1. Introduction Mineral particles in the atmosphere are often discussed from the viewpoint of the roles in solar-scattering, heterogeneous reaction sites, cloud condensation nuclei (CCN) formation and iron supply into the sea-surface. Also mineral particles can be used as atmospheric tracers for understanding of atmospheric transport processes because the strong and large source area of mineral particles is limited in the arid and desert regions in mid-latitudes. Recent Greenland ice-core measurements suggested that some mineral particles in the surface snow might be derived from the arid/desert regions in the northeast of China [Bory *et al.*, 2002; Drab *et al.*, 2002]. However, the knowledge about mineral particles in the Arctic troposphere is still unknown. Here, we aim to understand the spatial distribution, transport processes and the source area of mineral particles in the Arctic troposphere during the spring season.

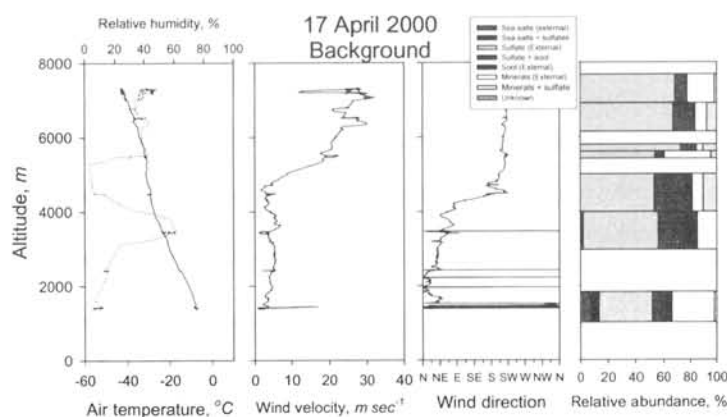
2. Observation and analysis Aerosol particles were collected using one-stage aerosol impactor (cut off diameter $\approx 0.2 \mu\text{m}$ in the airplane borne aerosol measurements in ASTAR2000 (Arctic

Study of Tropospheric Aerosol and Radiation 2000) and AAMP2002 (Arctic Airborne Measurement Program 2002).

Airplane borne aerosol measurements and direct aerosol sampling in the ASTAR2000 were operated around Svalbard (mostly Ny-Ålesund) from several ten m a.s.l. (above sea level) to approximately 7500 m a.s.l. in March-April, 2000. On the other hand, the direct aerosol sampling was carried out from ca. 100 m a.s.l. up to ca. 12000 m a.s.l. over Barrow, Alaska in AAMP2002 (12 March, 2002) in the present study.

Obtained aerosol samples were observed and analyzed by transmission electron microscope (TEM; H-800, Hitachi) and scanning electron microscope equipped with energy dispersive X-ray spectrometer (SEM-EDX; S-3000N, Hitachi; EMAX-500, Horiba). Details of the ASTAR2000 and analytical/observational

Figure 1. Vertical profiles of air temperature (thick line), relative humidity (dash line), horizontal wind velocity, wind direction and relative abundance of each mixing states in 17 Apr. 2000.



procedure were described in Hara *et al.*, [2002].

3. Results and Discussion Figure 1 shows the typical example of vertical profile of aerosol constituents and their mixing states, and meteorological data. In 17 April 2000, aerosol measurement was carried out near Bear Island for the validation with SAGE-II satellite. Vertical profiles of meteorological parameters in 17 April strongly suggest that airplane flew into the jet stream higher than ca. 5000m a.s.l. Relative abundance (number percentage) of mineral

particles indicated relatively higher than the other flights. Also, relative abundance of mineral particles in 19 April for SAGE-II validation in similar area showed higher in the margin of jet stream. Thus, jet stream in the upper troposphere might have significant contribution to dispersion of mineral particles in the Northern hemisphere.

In the free troposphere of Arctic area (not margin of Jet-stream), relative abundance of mineral particles ranged in a few ~ca. 20%. However, the number concentration of mineral particles estimated from electron microscopic measurements was in the order of 10^2 L^{-1} in the spring Arctic troposphere. Since aerosol impactor sampling includes particles loss systematically, the estimated number concentration is slightly underestimated relative to the ambient concentration. Hence, the variation of relative abundance of mineral particles was likely due to the feature of the total number concentration of aerosol particles in the background conditions and Arctic haze conditions. Considering the less source strength of mineral particles in the spring Arctic, mineral particles in the upper troposphere may be transport from the mid-latitudes.

In AAMP2002, some mineral particles were observed in the free troposphere over Barrow, Alaska in 12 March 2002. Figure 2 indicates (a) weather maps and (b) backward trajectory. During 3-6 March 2002, high pressure over Alaska

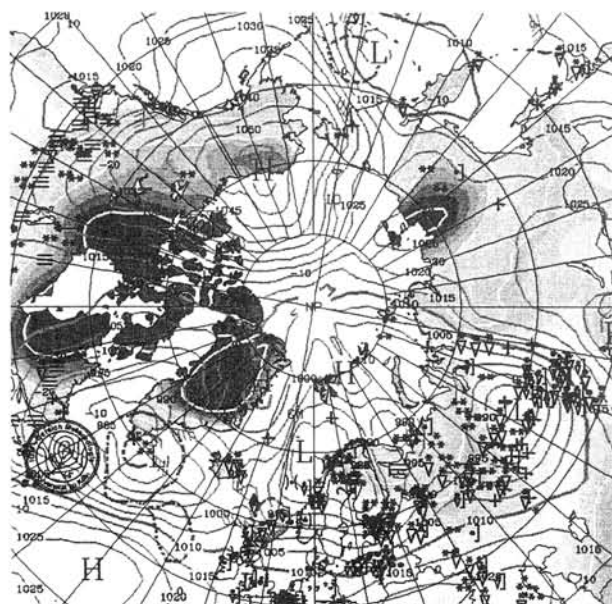


Figure 2a. Surface weather map of the Northern hemisphere in 6 March 2002. (<http://www.uni-koeln.de/math-nat-fak/geomet/meteo/winfos/>)

moved from North Pacific Ocean to Arctic (Barrow). This blocking-high pressure structure kept for several days since 4 March 2002, approximately. Backward trajectory suggests that air mass over Barrow came from North Pacific Ocean ~ China, although large dust storm events were not recorded in the air mass passing over China area. Considering enhancement of mineral particles in the troposphere over China ~northwest Pacific Ocean during the spring season, it is expected that mineral particles can be transport from the arid area in China into Arctic region through the blocking events over Alaska. During the ASTAR2000 campaign, the observed air masses over Svalvard were often transported from the Alaskan side over the Arctic Ocean for several days. Hence, mineral particles in the spring Arctic troposphere might be transported from the arid regions in northwest of China through the blocking events over Alaska in addition to the dispersion by jet-stream in the northern hemisphere. For more accurate discussion, individual mineral particles in Arctic free troposphere during the spring will be characterized in the future.

References

- Drab *et al.*, *Atmos. Environ.*, 36, 5365-5376, 2002.
 Bory *et al.*, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 196, 123-134, 2002.
 Hara *et al.*, *J. Geophys. Res.*, 108(D7), 4209, doi: 10.1029/2002JD002513, 2003

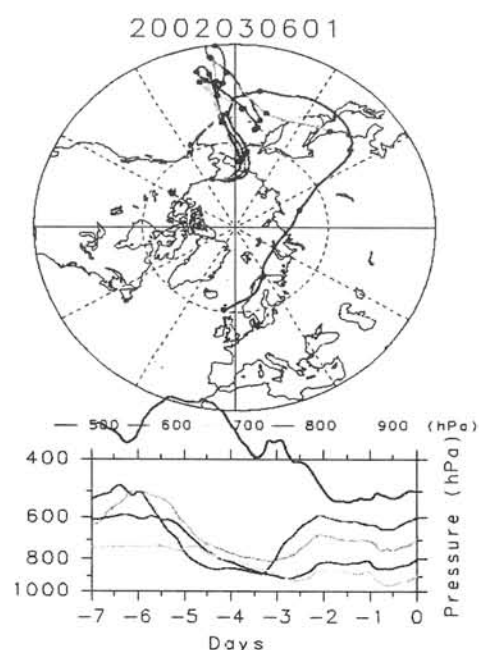


Figure 2b. Example of the backward trajectory (ECMWF) from Barrow, Alaska in AAMP2002.

IV. 3 南極自由対流圏のエアロゾル粒子

原圭一郎¹・和田誠¹・猪原哲²・芝治也³・岩坂泰信⁴・長田和雄⁴・山内恭¹

1:国立極地研究所、2:佐賀大学工学部、3:高知高専 4:名古屋大学院・環境学

Aerosol particles in the free troposphere of Antarctica

K. Hara¹, M. Wada¹, T. Ihara², H. Shiba³, Y. Iwasaka⁴, K. Osada⁴, T. Yamanouchi¹

(1: NIPR, 2: Saga Univ., Eng., 3: Kochi Natl. Coll. Technol., 4: Nagoya Univ., Env.)

Airplane-borne aerosol measurements were carried out in the Antarctic regions (Syowa station – Mizuho station) in JARE41 (2000-2001). Direct aerosol sampling was made using a 2-stage low volume impactor for ca. 30 minutes in the flow rate of 1.2 L min⁻¹ in the altitude of 2.4, 3, 4.5 and 6km above sea level. Aerosol particles containing sulfuric acid were dominantly observed in the free troposphere through the year. In the summer, fine aerosol particles (0.2 – 2 μm) were identified as particles containing sulfuric acid, whereas some mineral and sea-salt particles were observed in the coarse particles. Considering the background condition in JARE41, mineral particles and sea-salt particles might be transported from mid-latitudes through the free troposphere.

【はじめに】 南極域は他の地域と比べると人間活動域から隔離された環境であるため、地球上で最も清浄な地域と考えられることが多い。しかしながら、これまでに行われてきた南極域での大気観測結果¹⁾から、南半球低中緯度域での森林火災、人間活動、土壌起源の成分が南極域まで長距離輸送されている可能性が示唆されている。南極への空間的な輸送過程や大気成分の季節変化を理解するためには、上空（自由対流圏）でのエアロゾル観測が重要となる。ここでは、南極自由対流圏中のエアロゾル粒子の性状、輸送過程、季節的な特徴を知ることが目的として行った飛行機観測で得られたエアロゾルサンプル分析結果を中心に報告を行う。

【試料・分析】 南極での航空機観測は、第41次南極地域観測隊(JARE41, 2000-2001)で、昭和基地～みずほ基地上空で、セスナ機、ピラタス機を用いて行われた。エアロゾル粒子捕集には2段式 Low Volume Impactor(地上でのカットオフ径:2, 0.2 μm)を用いて、高度 2.4, 3, 4.5, 6km で行った。得られた試料は、透過型電子顕微鏡(TEM; H-800, Hitachi)と走査型電子顕微鏡-エネルギー分散型 X 線分析装置 (SEM-EDX; S-3000N + EMAX,

HITACHI + HORIBA)により個々のエアロゾル粒子の観察・分析を行った。また、大気非吸引試料（ブランク試料）の観察により、観察・分析された粒子は大気エアロゾル粒子由来であることを確認した。後方流跡線は、HYSPLIT4 (NOAA)を用いて計算した。

【結果と考察】 Tab.1 に夏季南極自由対流圏中の各エアロゾル粒子の割合を示す。EDX 分析において、S が特有に確認される粒子を硫酸粒子、Na

Table 1. Relative abundance (%) of each aerosol constituent in the summer Antarctic troposphere

Sample Date	Sulfate	Sea-salts	Minerals	Anthropogenic Or unknown
'00-Dec.11 4.5 km F*	91.5	2.1	4.3	2.1
'00-Dec.11 6 km F	88.9	0	7.4	3.7
'00-Dec.31 2.4 km C**	62.5	25.0	8.9	3.6
'00-Dec.31 2.4 km F	90.2	3.9	2.0	3.9
'00-Dec.31 4.5 km C	25.0	0	75.0	0
'00-Dec.31 4.5 km F	86.2	3.4	6.9	3.4
'00-Dec.31 6 km C	50.0	33.3	16.7	0
'00-Dec.31 6 km F	94.2	3.8	1.9	0

** : Coarse mode (>2μm), * : Fine mode (0.2-2μm)

や Cl を含有する粒子を海塩粒子（変質海塩粒子も含む）、Si, Al を含む粒子を土壌性粒子と分類した。一部の土壌性粒子は海塩粒子と内部混合していることもあったが、頻度は<2%程度だった。夏季自由対流圏中の微小粒子は主に硫酸粒子で構成されていた。一方、海塩粒子は粗大粒子で~33.3%、微小粒子でも~3.9%の割合で存在し、自由対流圏下層ほど高頻度で確認されていた。南極圏内のソースは極めて限定される土壌性粒子は微小粒子で~6.9%、粗大粒子で~75%まで達した例も確認された。また、夏季自由対流圏では人為起源物質と考えられる粒子（例、Pb-rich）も数%のオーダーで確認された。他の季節（2000 年 4、8 月）に捕集されたエアロソル粒子は硫酸粒子が主要で、夏季（12 月）の試料と比べると非硫酸粒子の頻度はきわめて低く、自由対流圏大気中のエアロソル粒子組成や物質輸送過程に大きな季節変化があることが予想される。

夏季南極自由対流圏での土壌性粒子や海塩粒子の存在は、El-Chichon 噴火直後での航空機観測²⁻³⁾でも確認されていたが、土壌性粒子は火山起源粒子の可能性もあった。しかし、今回観測を行った JARE41（2000-2001 年）は、1991 年 6 月のピナツボ火山噴火以降に大規模な火山噴火の影響がほとんどない“バックグラウンド”状態であることを考えると、土壌(地上・乾燥地)起源の土壌性粒子が自由対流圏を経由して中緯度域から南極域へ輸送されていることが示唆される。

Fig.1 に 2000 年 12 月 31 日の各観測高度での後方粒跡線を示す。海塩粒子が高頻度で得られた下層自由対流圏(2.4km)では、中緯度域海洋境界層からの鉛直混合と長距離輸送の可能性が示されている。同様に比較的高頻度で土壌性粒子が確認された高度 4.5km においても、南インド洋の海洋境界層からの輸送が示唆されていた。'00-Dec.31 と比較すると海塩粒子と土壌性粒子の頻度が低かった'00-Dec.11 に観測された大気は南極大陸氷床上~沿岸域を漂っていたことを考えると、中低緯度海洋境界層からの長距離輸送と鉛直混合が、南極自由対流圏中の海塩粒子と土壌性粒子の存在に大きく寄与している事が伺える。また、'00-Dec.31 の高度 6000m では自由対流圏上層(5000-6800m)を輸送されていた状況にも関わらず、土壌性粒子が粗大粒子では 16.7%、微小粒子でも 2%ほどの頻度で観測され、海塩粒子も

33.3%(粗大)、3.8%(微小)の頻度で得られていた。明瞭な中緯度からの輸送や鉛直混合が得られなかった'00-Dec.11 にも数%のオーダーで海塩粒子や土壌性粒子が存在していた事を考慮すると、夏季の南半球~南極での自由対流圏バックグラウンド状態にも、海塩粒子や土壌性粒子が数%のオーダーで存在していることが示唆される。土壌性粒子の起源については、現時点でははっきりしないが、Dec.31 の 6000m の後方粒跡線解析は、南大西洋からの輸送を示唆しているため、同位対比分析(⁸⁷Sr/⁸⁶Sr, ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd)の結果⁴⁾が示唆しているように南米大陸（特にパタゴニア周辺）からの土壌性粒子発生の寄与が大きいのかも知れない。当日は、自由対流圏中の海塩粒子の組成（変質）や他季節の分布も比較して報告を行う予定である。

References:

- 1) Hara, K., *J. Aerosol Res.*, **18**, 200-213, 2003.
- 2) Iwasaka, Y. et al., *Mem. Natl. Inst. Polar Res. Spec. Issue*, **39**, 17-29, 1985
- 3) Yamazaki, K. et al., *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, **67**, 889-906, 1989
- 4) Basile, I. et al., *Earth Planet. Sci. Lett.*, **146**, 573-589, 1997.

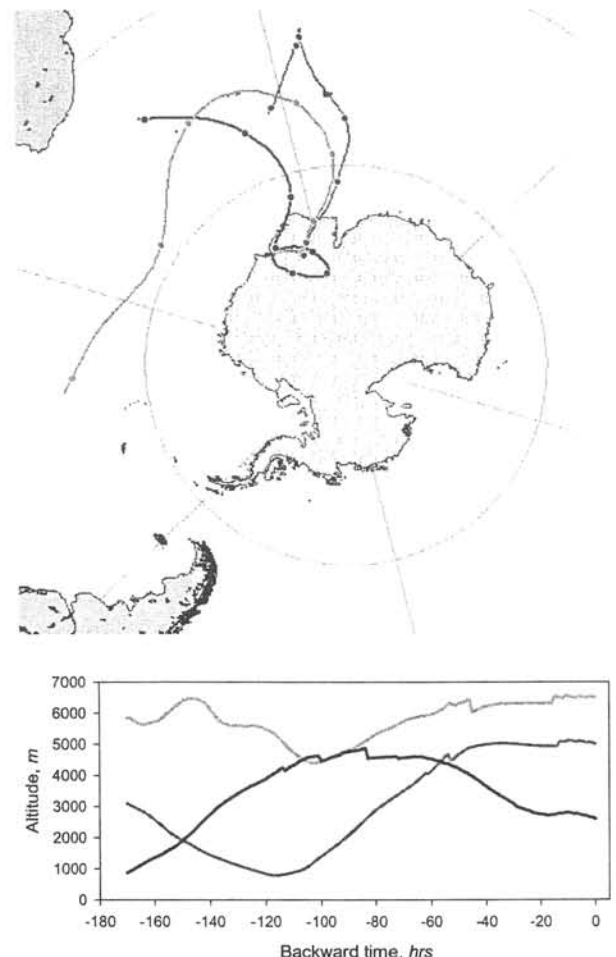


Figure 1. Backward trajectory from each observation height in 31 Dec., 2000. Dotted marks indicate the location every 24 hours.

IV. 4

北極域の雲科学 (3)

藤吉康志 (北大低温研/地球フロンティア)、吉田一穂 (北大院地球環境)、粕谷英行 (北大院地球環境)、堀江宏昭 (通信総合研究所)、塚本 修 (岡山大学理学部)、石田廣史 (神戸商船大学商船学部/地球観測フロンティア)

Cloud Science in the Arctic region (3)

Yasushi Fujiyoshi (ILTS, Hokkaido Univ./FRSGC), Kazuho Yoshida (Hokkaido University), Hideyuki Kasuya (Hokkaido Univ.), Hiroaki Horie (CRL), Osamau Tsukamoto (Okayama Univ.), Hiroshi Ishida (Kobe Univ. of Mercantile Marine/FORSGC)

Abstract

Many climate models predicted amplification of greenhouse warming in the Arctic. Cloud system is very important factor that control the energy and water cycle, thus climate, in the Arctic. However, we poorly understand the physical processes at work in the polar cloud systems. Therefore, we observed many components related to cloud systems over the Arctic Ocean by making use various kinds of remote sensors and in-situ measurement during the Arctic expedition of the research vessel "MIRAI" from Sep. to Oct., 2002. Our main purpose is to study formation, organization, and microphysical processes of marine boundary layer and meso-scale cloud systems.

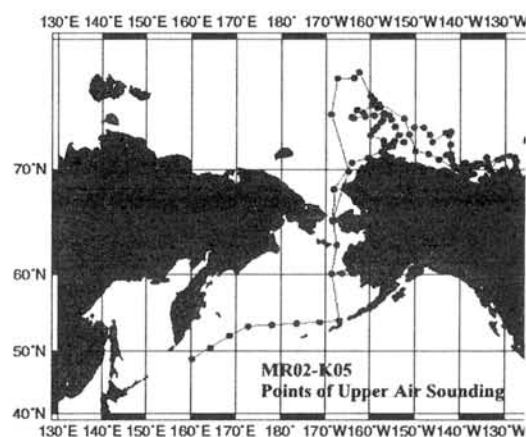
We will present tentative results of (1) vertical profile of number density of aerosols from sea surface to 1000 m, (2) radar echo structure of Arctic stratus and water cycle, (3) surface latent/heat and CO₂ fluxes.

海洋科学技術センターの研究観測船「みらい」の北極航海 MR02-K05 に参加し、北極海の水・エネルギー収支に重要な役割を果たしている様々な雲システムとエアロゾルの、水平および鉛直分布の観測を行った。実質的に北極海にいたのは、2002 年 9 月 2 日～10 月 6 日までの約 1 ヶ月である。「みらい」に標準装備されている機器以外に観測に用いた装置は、ミリ波雲レーダー、偏波ライダー、音波レーダー、マイクロ波放射計、スカイラジオメーター、パーティクルカウンター、エアロゾルサンプリング、ネフエロメーター、吸収率計、マイクロレインレーダー、光学式降水粒子計、そして乱流フラックス観測装置である。また、6 時間毎に合計 120 個の気象ゾンデを放球し(図)、これに加えて係留気球観測を 5 回行った。

係留気球には、気象ゾンデ、短波・長波放射計、

エアロゾルカウンター、雲粒子計を吊り下げて、最高高度で 1000m まで観測を行った。

期間中、肉眼ではほとんど下層雲しか見ることができなかったが、「ミリ波雲レーダー」のデータを見ると、2 層から 3 層構造を示していた。上層の雲からの雪粒子は下層の雲に到達して種蒔きを行っており、Seeder-Feeder 過程が北極域の降水機構として重要な役割を果たしていることが分かった。その一方、上層の雪粒子のほとんどは落下中に昇華蒸発してしまい、海面と北極層雲と呼ばれる最下層の雲の水循環と、それ以上の高度との水循環は分離している。係留気球を用いて海面から下層雲内までの観測結果をみると、雲内には 5~30 μm の直径を持つ過冷却雲粒が存在していた。また、エアロゾルの数も、雲底下よりも雲頂上の方が多かった。潜熱・顕熱フラックスは、50 Wm⁻² 以下であったが、風速が 10 m s⁻¹ を越える寒気吹き出し時には、顕熱が 300 Wm⁻² を越えることもあった。興味深いことに吹き出し以前にはほとんど 0 であった CO₂ フラックスが寒気吹き出しと同時に急激に増大(大気から海へ)し、海洋による二酸化炭素の吸収が現場観測で確認することができた。



「みらい」船上でおこなったゾンデ観測の放球点

V. 1 冬季シベリア地域における大気汚染物質沈着量の評価

深澤達矢・玉上直人・村尾直人・太田幸雄・橘治国・清水達雄（北大院工学研究科）
永淵修（福岡県保健環境研究所）・和泉薫（新潟大・積雪地域災害研究センター）
山田知充（北大低温研）・西尾文彦（千葉大）藤井理行（極地研）

Estimation of atmospheric deposition in Siberia during winter

T. FUKAZAWA, N. TAMAGAMI, N. MURAO, S. OHTA, H. TACHIBANA, T. SHIMIZU (Hokkaido Univ.),
O. NAGAFUCHI (Fukuoka Institute of Health and Environmental Sciences), K. IZUMI (Research Institute of Hazards in
Snowy Area, Niigata Univ.), T. YAMADA (ILTS), F. NISHIO (Chiba Univ.), Y. FUJII (NIPR)

Deposition fluxes of sulfate in Siberia were calculated by using three-dimensional Euler-type model. The calculated fluxes in winter were slightly higher than the measured fluxes by the past field researches on the way from Yakutsk to Irkutsk, Bragoveshensk, Verkhoyansk and Magadan. However, the calculated profiles were relatively consistent with the research results. Namely, the fluxes of sulfate in winter were decreased in northeastern part of Siberia. We also tried to calculate the heavy metal fluxes from the product of the sulfate and the ratios of metal and SO_2 emission by Pacyna. They were consistent with the results in case of the metals emitted from combustion sources.

はじめに

前回までの発表で、ヤクーツク—イルクーツク間、ヤクーツク—ブラゴベシensk間、ヤクーツク—ベルホヤンスク間、ヤクーツク—マガダン間の現地調査にもとづいた冬季シベリア地域における重金属成分の沈着量について報告した。今回は、藤本等による3次元オイラー型の沈着モデルを用い、シベリア全域における硫酸塩沈着量分布を算出し、実測値と比較した。また、ロシア国内における排出源データが入手困難なため、Pacynaの結果をもとに重金属排出係数を求め、硫酸塩沈着量と排出係数の積から重金属成分沈着量分布を求めることを試みた。

沈着量の算出

極ステレオ図法で表現した北半球を一辺 25200 km の正方形で囲み、その正方形を 200 km×200 km 毎に分割した。鉛直方向は等圧面座標系で 1000, 925, 850, 700, 600, 500 hPa の 6 圧力面で 5 層に分割した。風向、風速、温度データは気象庁の 2000 年全球客観解析データを使用し、全降水量と対流性降雨による降水量データは、NOAA-CIRES Climate Diagnostics Center の NCEP/NCAR 最解析データを用いた。また、 SO_2 排出量は EDGER と Ryaboshapko の人為起源 SO_2 排出量データを用い、地表面の SO_2 ガス濃度と硫酸塩沈

着量を算出した。次に Pacyna によるノリリスク、コラ半島、ベチョラ盆地における SO_2 と重金属成分の排出量の調査結果から重金属排出係数を求め、硫酸塩沈着量と排出係数の積から重金属成分沈着量分布を試算した。

結果及び考察

モデルによる地表面の SO_2 ガス濃度の計算結果は過去のノリリスク、ヤクーツクにおける調査結果とよく一致した。また、積雪期間を 10 月から翌年 3 月までとして冬季の硫酸塩沈着量を計算し、実測値と比較したところ、分布の傾向は比較的よく一致しているものの、計算値の方が実測値よりやや高くなった。

重金属成分沈着量の試算の結果、As, V のような燃焼起源の元素に関しては実測値と比較的よく一致したが、Pb, Zn 等のようにほとんど合わない元素もあった。原因としては各排出源の特性を無視している、あるいはゴミ焼却のように最初から考慮していない排出源等によると考えられた。

現地調査ではわからなかったより広域の沈着量分布という点では、やはり東西ヨーロッパ、ロシア西部、中国北東部及びノリリスク周辺で沈着量が多く、一方、シベリア北東部においては沈着量が少ない様子が明らかにできた。

V. 2

スバルバル諸島ニーオールソン、南極昭和基地、および仙台市郊外における 大気中酸素濃度の変動

石戸谷重之¹・森本真司²・橋田元²・青木周司¹・S. Maksyutov³・中澤高清^{1,3}

1: 東北大、2: 極地研、3: 地球フロンティア

Variations of atmospheric O₂/N₂ ratio observed at Ny-Ålesund, Svalbard, Syowa station, Antarctica, and in the suburbs of Sendai, Japan

S. Ishidoya¹, S. Morimoto², G. Hashida², S. Aoki¹, S. Maksyutov³ and T. Nakazawa^{1,3}

1: Tohoku University, 2: National Institute of Polar Research, 3: Frontier Research System for Global Change

Atmospheric O₂/N₂ ratio has been observed at 3 ground-based stations. The seasonal cycle of $\delta(\text{O}_2/\text{N}_2)$ was clearly observed at all stations, which was ascribed to terrestrial biospheric activities and seasonally-changed air-sea O₂ flux. The annual mean values of $\delta(\text{O}_2/\text{N}_2)$ were observed to be higher at Syowa station than Ny-Ålesund, reflecting that a large amount of fossil fuel is consumed in the northern hemisphere. Secular decrease of $\delta(\text{O}_2/\text{N}_2)$ was observed at all stations. By analyzing the $\delta(\text{O}_2/\text{N}_2)$ and CO₂ concentration data obtained in the suburbs of Sendai, average CO₂ uptakes by the terrestrial biosphere and the oceans for the period May 1999-May 2003 were estimated to be 0.5 and 2.8 GtC/yr, respectively.

はじめに

大気中の二酸化炭素 (CO₂) 濃度と酸素 (O₂) 濃度の変化を組み合わせることで解析することにより、人為起源 CO₂ の大気・海洋および陸上生物圏の各リザーバー間収支に関する定量的情報を得ることができる。今回は、ニーオールソン、昭和基地、仙台市郊外の3箇所の地上基地での O₂ 濃度の観測結果について報告する。

観測

O₂ 濃度分析用試料空気は、北極域に属するスバルバル諸島のニーオールソン (79°E, 15°N)、南極昭和基地 (69°S, 40°E)、および仙台市郊外の青葉山 (38°N, 140°E) において、それぞれ約 1 週間に 1 度、2 週間に 1 度、および 1 か月に 1 度の頻度で、容積約 550ml (昭和基地のみ容積 2700ml) のガラスフラスコに大気圧で採取された。採取された試料空気は研究室に持ち帰り、質量分析計によって O₂ 濃度 $\delta(\text{O}_2/\text{N}_2)^*$ を分析した。 $\delta(\text{O}_2/\text{N}_2)$ の測定精度は $\pm 5.4 \text{ per meg}$ ($\sim \pm 1.1 \text{ ppmv}$) である⁽¹⁾。

* $\delta(\text{O}_2/\text{N}_2) = ((\text{O}_2/\text{N}_2)_{\text{sa}} / (\text{O}_2/\text{N}_2)_{\text{ref}} - 1) \times 10^6$ ここで、sa は測定試料、ref は標準試料を示す。

結果

図 1 に、ニーオールソン、昭和基地、および仙台市郊外において観測された $\delta(\text{O}_2/\text{N}_2)$ および CO₂ 濃度を示す。得られた $\delta(\text{O}_2/\text{N}_2)$ は、夏に極大、冬から春にかけて極小となる明瞭な季節変化を示し、それぞれの観測点での振幅は約 123、75、および 141 per meg であった。これらの振幅は、CO₂ 濃度の季節変化から予測される陸上植物活動による変化量より大きいことから、 $\delta(\text{O}_2/\text{N}_2)$ の季節変化には大気海洋間の季節的なガス交換による影響 ($\delta(\text{O}_2/\text{N}_2)_{\text{oc}}$) が存在することが示された。

$\delta(\text{O}_2/\text{N}_2)_{\text{oc}}$ はいずれの観測点でも夏に極大値、冬から春にかけて極小値を示し、ニーオールソン、昭和基地、仙台における振幅はそれぞれ約 50、74、68 per meg であった。このことから、北半球の基地では約半分、南半球の基地ではほぼ全ての季節変化が海洋と大気の O₂ 交換によって引き起こされていたことになる。

ニーオールソンにおいて観測された $\delta(\text{O}_2/\text{N}_2)$ の年平均値は昭和基地の値より約 24 per meg 低く、北半球における大量の化石燃料消費によって O₂ が消費されていることを示唆していた。

$\delta(\text{O}_2/\text{N}_2)$ はいずれの基地においても明瞭な経年減少を示した。観測期間の最も長い仙台市郊外における $\delta(\text{O}_2/\text{N}_2)$ の平均変化率は -19.7 per meg/yr であり、CO₂ 濃度と組み合わせた解析によって推定された 1999 年 5 月から 2003 年 5 月の期間の陸上生物圏と海洋による CO₂ 吸収量はそれぞれ 0.5、2.8 GtC/yr であった。

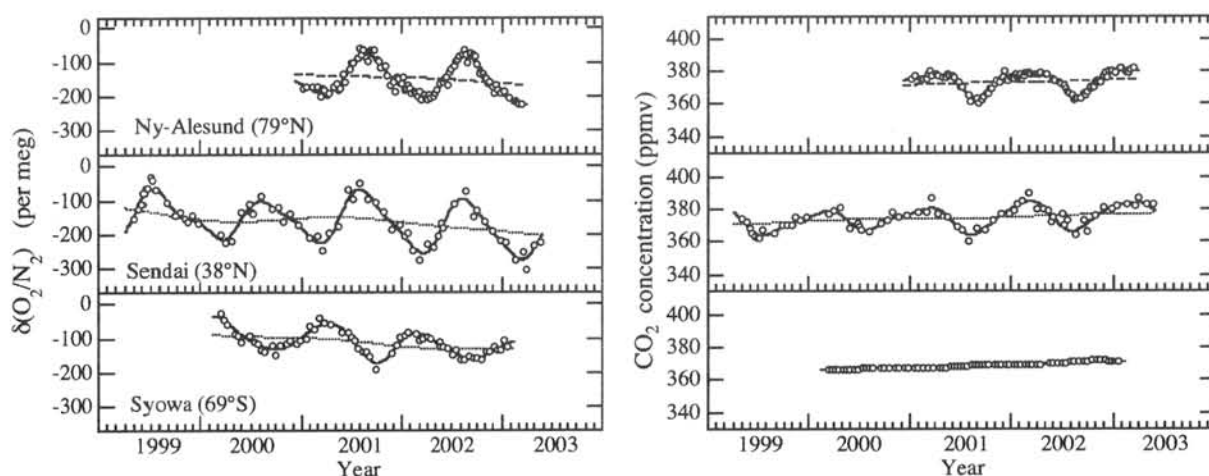


図 1. ニーオールソン、昭和基地、および仙台市郊外で観測された大気中 $\delta(\text{O}_2/\text{N}_2)$ と CO₂ 濃度。

参考文献 (1) Ishidoya et al., J. Meteorol. Soc. Japan, 81, 127-140, 2003.

V. 3

ADEOS-II 搭載 ILAS-II による 2003 年 3～4 月キルナにおける ILAS-II 検証実験計画と 2003 年南極オゾンホールの初期解析結果

中島英彰、杉田考史（国立環境研究所）、神沢 博（名古屋大学大学院）

笹野泰弘（国立環境研究所）、Gerald Wetzel、Herman Oelhaf（ドイツ IMK/FZK）

Validation experiment plan of ILAS-II onboard the ADEOS-II satellite in March-April 2003 in Kiruna, Sweden and initial results on Antarctic ozone hole in 2003 measured by ILAS-II

Hideaki Nakajima, Takafumi Sugita (National Institute for Environmental Studies), Hiroshi Kanzawa
(Graduate school of Nagoya University), Yasuhiro Sasano (National Institute for Environmental Studies),
Gerald Wetzel, and Herman Oelhaf (IMK/FZK)

The Improved Limb Atmospheric Spectrometer-II (ILAS-II), onboard the Advanced Earth Observing Satellite-II (ADEOS-II) is a solar-occultation atmospheric sensor to monitor vertical profiles of ozone and its related minor species in high latitudes. ADEOS-II has successfully launched in December 2002, and after the initial checkout, ILAS-II has started its routine measurements since April, 2003. In order to ensure the validity of atmospheric parameters measured by satellite sensors, the validation analysis is essential. An ILAS-II validation campaign with several large balloon-borne experiments is scheduled to be held in Kiruna, Sweden. In this validation campaign, four flights of SAKURA (a cryogenic sampler), MkIV (a solar-occultation Fourier-Transform Infrared Spectrometer: FTS), LPMA (a solar-occultation FTS), and MIPAS-B (an emission FTS) are planned to be launched. In addition, some preliminary validation results by already acquired data are to be presented.

The minimum temperature of this year's Antarctica in the lower stratosphere (50 hPa level) is recording its minimum level since the appearance of ozone-hole in early 1980s. Subsequently, ozone-hole area and ozone loss amount in mid-September in the Antarctica are also 2nd largest next to that of 2000. Preliminary measurement result of ILAS-II is going to be presented at the meeting.

太陽掩蔽法を用いた ADEOS-II 衛星搭載のセンサー改良型大気周縁赤外分光計 II 型 (ILAS-II) は、2002 年 12 月の打上げ後、機能確認を終えて、2003 年 4 月からは定常的にデータを取得し始めている。一般的に衛星搭載観測センサーのデータを科学的解析に利用するためには、そのデータの信憑性を確認するための検証実験ならびに検証解析が不可欠である。ILAS-II の検証を行う目的で、大気球による ILAS-II 検証実験キャンペーンが 2004 年 3～4 月にスウェーデン・キルナにおいて実施される予定である。ここでは、日本の東北大学の中澤教授らのグループによる SAKURA（クライオジェニック・サンプラー）、アメリカ JPL のグループによる MkIV（太陽掩蔽法 FTS）、フランスによる LPMA（太陽掩蔽法 FTS）、及びドイツによる MIPAS-B（周縁大気放射 FTS）の計 4 フライトが実施される予定である。また、すでに別キャンペーンとして 2003 年に行われた MIPAS-B による気球観測結果と ILAS-II との初期比較結果についても報告する予定である。

今年の南極成層圏は、現在（2003 年 9 月）までのところ、オゾンホールが発見された 1980 年代以降では最低に近い気温で推移している。それに伴い、オゾンホールの規模も、その大きさとオゾン破壊量の両方について、現在までの最低レベルで推移してきている。ILAS-II はこのオゾンホールの形成から成長にかけて観測を行っている。ILAS-II 観測による初期解析結果についても報告する予定である。

V. 4

オゾンゾンデによる観測と同期した ILAS-II オゾンデータとの比較

杉田考史・国立環境研究所、神沢博・名古屋大学、中島英彰・国立環境研究所、佐藤薫・国立極地研究所

A comparative study of ozone measurements made by ozonesondes and ILAS-II

Takafumi Sugita/National Institute for Environmental Studies, Hiroshi Kanzawa/Nagoya University, Hideaki Nakajima/National Institute for Environmental Studies, Kaoru Sato/National Institute of Polar Research

A solar occultation sensor, the Improved Limb Atmospheric Spectrometer (ILAS)-II, started to measure vertical profiles of several gas concentrations and aerosol extinction coefficients in the stratosphere from January 2003 (the operation phase from April 2003). The latitude coverage is in the high-latitude in the both hemispheres. One of the purposes of the ILAS-II measurement is to continue such high-latitude measurements of ozone and its related species in order to contribute to the derivation of their trends accurately. An early validation status of the ozone data through comparison with ozonesonde measurements will be presented. The ozonesonde data were obtained from the ILAS-II core validation measurements in Kiruna, Sweden in February and March, and in Syowa Station, Antarctica in February, May, July, and August. Along with these data, data from the QUOBI campaign, including Syowa Station, were used under the VINTERSOL data protocol and provided through a database of NILU. Initial results from these comparisons suggest that the ILAS-II ozone data in the lower stratosphere have a good quality and are suitable for scientific studies.

改良型大気周縁赤外分光計 II 型 (ILAS-II) は太陽掩蔽法に基づき、成層圏中のいくつかのガス濃度やエアロゾル消散係数を 2003 年 1 月より測定している (4 月からは定常運用)。観測の緯度範囲は両半球の高緯度域である。この ILAS-II の観測目的の一つは、高緯度域におけるオゾンやその関連物質の正確なトレンド導出において貢献することが挙げられる。初期的な ILAS-II のオゾンデータのデータ質検証結果が発表される。その評価には、ILAS-II のコア検証実験としてスウェーデン、キルナにおいて 2003 年の 2 月と 3 月に実施されたオゾンゾンデ観測や、南極、昭和基地において 2003 年 2 月、5 月、7 月、そして 8 月に実施されたオゾンゾンデ観測からのデータが利用される。さらに、国際的なオゾン破壊速度の定量化のためのオゾンゾンデキャンペーンである QUOBI からのデータを VINTERSOL データプロトコルの下に利用した。このキャンペーンには昭和基地も含まれる。また、データはノルウェイ大気研究所 (NILU) のデータベースを通じて取得している。これらデータを利用して行なった初期的な比較結果は、ILAS-II のオゾンデータが下部成層圏において、良好なデータ質を持ち、科学的な研究に十分資することを示している。

VI. 1

気候変化に対する熱塩循環の長期応答と大気淡水輸送の役割

* 村上茂教・鬼頭昭雄 (気象研究所気候研究部)

Long-term response of the Atlantic thermohaline circulation to climate change and role of the atmospheric fresh water transport

S. Murakami and A. Kitoh (Meteorological Research Institute)

To understand the behavior of the Atlantic thermohaline circulation (THC) to climate changes, a theoretical consideration based on the conceptual 4-box model has been performed. The consideration shows that the long-term response of the THC to global warming is determined by its regime of flow. If the present-day THC is in thermally driven regime, the long-term response is consistent with the transient response and the THC will be reduced in case of global warming. However, if the current THC is in thermo-haline driven regime, the long-term response differs from the transient response and there exists a possibility that the THC will be enhanced in the distant future. The result of the CMIP coordinated experiment with the MRI-CGCM suggests that the current Atlantic THC is in thermo-haline driven regime. This consequence also explain the reason of the weakened THC in glacial maximum.

古海洋学的な証拠によれば氷期の極大期には大西洋熱塩循環は現在（あるいは間氷期）より弱かったと考えられている。一方、IPCC 第三次報告書でも報告されているように、ほとんどの気候モデルは、温室効果ガスの増加に伴う地球温暖化により熱塩循環が弱まることを予測している。熱的効果だけを考えるなら、温暖化と寒冷化は全く逆の効果をもたらすと考えられるから、これら二つの現象を熱的効果だけで説明することは出来ない。一方、しばしば言われるように、温暖化による熱塩循環の弱化の原因を全球水循環の活発化に伴う高緯度側への淡水供給の増加に求めるなら、水循環の弱まる氷期にはむしろ熱塩循環は強化されてしかるべきである。勿論、Heinrich events を含む大陸氷床からの一時的且つ大量の淡水供給現象が熱塩循環の一時的な弱体化もしくは停止を誘発しそれがグリーンランドアイスコアに記録される急激且つ大きな気温変動の原因となったことは、様々な状況証拠から考えて、ほぼ間違いはないと思われるが、おそらくそれは一時的な現象に過ぎず、氷期の始まりから最盛期へと至る熱塩循環のゆるやか且つ長期的な弱体化傾向をそれで説明することは困難である。更に Manabe and Stouffer (1991) 等で報告されている、温暖化により一旦弱化した熱塩循環が数百年あるいは数千年の後にその強さを回復させ、最終的には現在よりやや強い状態で平衡するという実験結果は混乱をよりいっそう助長する。

上に述べた考察の背後には、熱塩循環が海面における熱フラックスの（絶対値の）増大により強化され、また淡水フラックスの（絶対値の）増加により弱められる筈だという暗黙の前提がある。これは現在の熱塩循環が Stommel (1961) の 2-box モデルの描像で言うところの（純粋な）熱駆動レジームにあると考えることと同等である。しかしながら、こうした考え方とは別に、現在の熱塩循環を塩分駆動であるとする主張もある (e.g. Broecker et al. 1989)。この見方に立つなら、上述の議論とは異なり、温暖化に際して熱塩循環はむしろ強まると考えられる。しかしながら、この塩分駆動の熱塩循環を Stommel のボックス

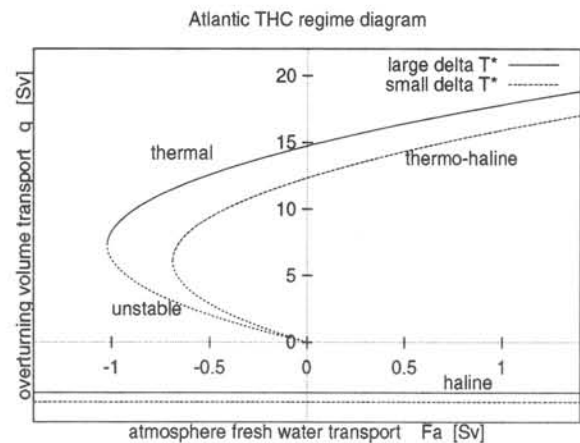


図 1: Ramstorf 4-box モデルにおける熱塩循環のレジームダイアグラム

スモデルによる描像と整合させるには、幾つかの問題がある。

筆者らは、こうした混乱の解決を図るべく、Rahmstorf (1996) で導入された 4-box モデルを用いて、熱及び淡水フラックスの変化に対する熱塩循環の平衡応答を理論的かつ系統的に調べた。またその結果を、気象研大気海洋結合モデルを用いた、温暖化実験及び CMIP coordinated 実験の結果と対比させることにより、現実の大西洋熱塩循環は、熱塩駆動レジームにあると判断するのが適当であることを明らかにした (図 1)。

熱塩駆動レジームでは、大気水蒸気輸送の増加は一時的には熱塩循環を弱めるが、長期的には、むしろ循環を強めるように作用する。従って、この結論に従えば、Manabe and Stouffer (1991) における熱塩循環の振舞は当然の結果であるという事になる。更にこの結論は Stouffer and Manabe (2003) の結果や幾つかのモデルによる最終氷期極大期のシミュレーションにおける熱塩循環の振舞と整合的である。

高濃度大気中二酸化炭素と氷床の南極底層水への影響

本井 達夫¹・陳 永利¹・李 亨模¹・阿部彩子^{1,2}

(1: 地球フロンティア研究システム 2: 東京大学気候システム研究センター)

Effects of Higher Atmospheric CO₂ Concentration and Ice Sheets on the Antarctic Bottom Water

T. MOTOI¹, W.-L. CHAN¹, H. YIH¹ and AYAKO ABE-OUCHI^{1,2}

(1: Frontier Research System for Global Change 2: Center for Climate System Research, The University of Tokyo)

Effects of higher CO₂ concentration in the atmosphere and of Greenland and Antarctic ice sheets on the Antarctic Bottom Water (AABW) are investigated through a sensitivity experiment by using a climate model. Three runs are carried out for the sensitivity experiment. One of them is a control run (named CONTROL), with the standard atmospheric CO₂ concentration (300 ppm) and the ice sheets. The other two have 1200 ppm atmospheric CO₂ concentration (quadruple the standard value), with and without the ice sheets and are named QC and QCNIS respectively. Time integration more than 5000 years is carried out for each run to obtain quasi-equilibrium state. The quadrupling in the atmospheric CO₂ concentration induces AABW warming of 5 °C. The warming is enhanced with 1 °C due to absence of ice sheets.

1. はじめに 高濃度の大気中二酸化炭素濃度は、極域海洋で海水温の上昇を引き起こす。一方、氷床は、寒気の吹き出しをともなう、その周辺の極域海洋を冷却する。南極底層水は南半球の極域海洋で形成されているため、高濃度大気二酸化炭素濃度による加熱効果と、氷床による冷却効果の影響を受けると考えられる。しかしながら、高濃度大気二酸化炭素濃度や氷床が南極底層水に与える影響については詳しく研究されていない。そこで本研究では気候モデルによる感度数値実験によって、高濃度大気二酸化炭素濃度と氷床の有無が南極底層水に及ぼす影響について調べた。

2. 感度数値実験 実験に用いたモデルは、米国地球流体力学研究所で開発された低解像度(R15)の気候(大気・海洋結合大循環)モデル(Manabe and Stouffer, 1998)である。同モデルを用いて、3つのランを行った。一つはコントロールランで、南極及びグリーンランド氷床が現在気候の状態に存在し、大気中二酸化炭素濃度が標準値 300ppm の場合である(CONTROLラン)。他の2つのランは、大気中二酸化炭素濃度がCONTROLランでの標準値(300ppm)の4倍で1200ppmの場合である。そして、このうちの1つのランはCONTROLランと同じように南極及びグリーンランド氷床が現在気候

の状態に存在し(QCラン)、他の1つのランは氷床が無い、即ち、南極及びグリーンランド氷床に替わって、標高0mでアルベド0.17の陸面が存在している(QCNISラン)。どのランも準平衡解を求めるために、5千年以上の時間積分を行った。

3. 結果 図1にCONTROLランの積分6000年から6100年の100年平均の全球東西平均水温緯度・深度分布を示している。また、図2にLEVITUSによる観測気候値の全球東西平均水温緯度・深度分布を示している。観測(図2)から、2°C以下の南極底層水が南半球の極域から全球の底層(3000m深以下)に広がっている。図1で、図2と同様に2°C以下の冷水が見られることから、気候モデルによるCONTROLランで南極底層水が再現されていることが分かる。

図3と4に、それぞれQCランとQCNISランの積分6000年から6100年の100年平均の全球東西平均水温緯度・深度分布を示している。QCラン(図3)で南極底層水が7°Cまで温まっている。このことから、大気中二酸化炭素濃度が4倍になった場合、南極底層水は約5°C昇温することが分かる。また、QCNISラン(図4)では、南極底層水が8°Cまで温まっていることから、氷床が無い場合に南極底層水はさらに1°C昇温することが分かる。

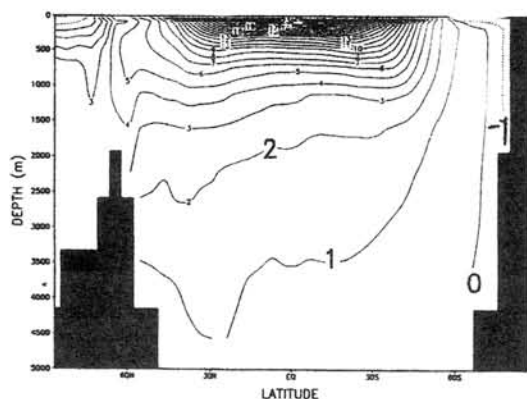


図1 全球東西平均水温の緯度・深度分布 (°C)
積分 6000 年から 6100 年の 100 年平均値
CONTROL : 大気中 CO_2 濃度は
300ppm、氷床あり
(現在気候に相当)

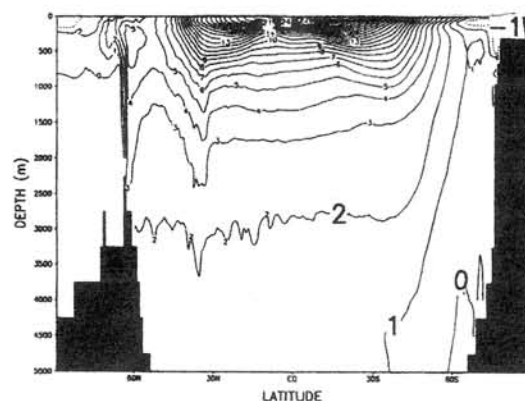


図2 全球東西平均水温の緯度・深度分布 (°C)
観測気候値: LEVITUS (現在気候)

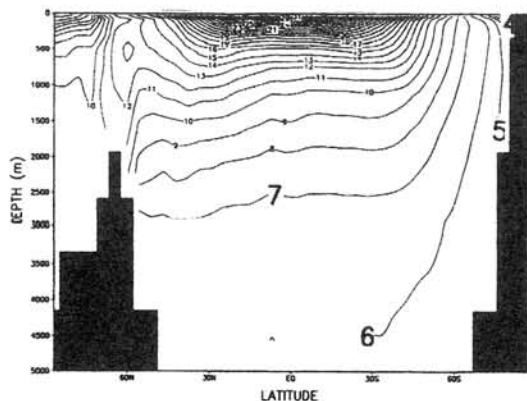


図3 全球東西平均水温の緯度・深度分布 (°C)
積分 6000 年から 6100 年の 100 年平均値:
QC : 大気中 CO_2 濃度は 1200ppm、
氷床あり

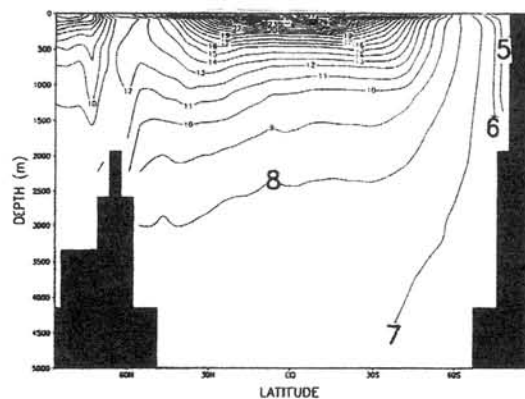


図4 全球東西平均水温の緯度・深度分布 (°C)
積分 6000 年から 6100 年の 100 年平均値:
QCNIS : 大気中 CO_2 濃度は 1200ppm、
氷床なし

VI. 3

極域における水蒸気輸送

大島 和裕, 山崎 孝治 (北海道大学大学院 地球環境科学研究科)

Moisture transport in the Polar Regions.

Kazuhiro Oshima, Koji Yamazaki

(Graduate School of Environmental Earth Science, Hokkaido University)

Abstracts: Moisture transport in the polar regions is estimated with the 15-year (1979-1993) ECMWF Re-Analysis data. Over the Arctic Ocean, seasonal variation of moisture flux is large. On the other hand, over the Antarctica, seasonal variation is small. Poleward moisture transport is enhanced in summer for both polar regions.

A positive polarity of the Arctic Oscillation is associated with an enhanced poleward moisture flux from Atlantic Ocean in all season and enhanced southward flux at the northeast America in summer. A positive polarity of the Antarctic Oscillation is associated with cyclonic flux at the west of Antarctic Peninsula.

はじめに 極域における水蒸気輸送は海水や氷床の変動に影響を及ぼすことが予想される。

そこで本研究では北極海および南極大陸への水蒸気輸送の特徴を調べた。また、両極域における大気の変動の特性を表す北極振動 (Arctic Oscillation; AO), 南極振動 (Antarctic Oscillation; AAO) と水蒸気輸送との関係について調べた。

データと解析 本研究では 15 年間 (1979 - 1993) の ECMWF 再解析データを用いて水蒸気フラックス (Moisture Flux; MF) を求め、解析を行った。先行研究では、70N 以北を北極域、70S 以南を南極域と考えて MF を見積もっている。

しかし、極域での水収支を考えるためには、北極海、南極大陸に流入する水蒸気量を見積もることが有益であると考え、海陸

のデータをもとにして各領域を決めて、水蒸気の流入量を見積もった。また、AO, AAO との関係調べるため、AO, AAO index (NCEP, CPC) との回帰解析を行った。

季節変化 図 1 は北極海および南極大陸に流入する MF の季節変化である。比較のために

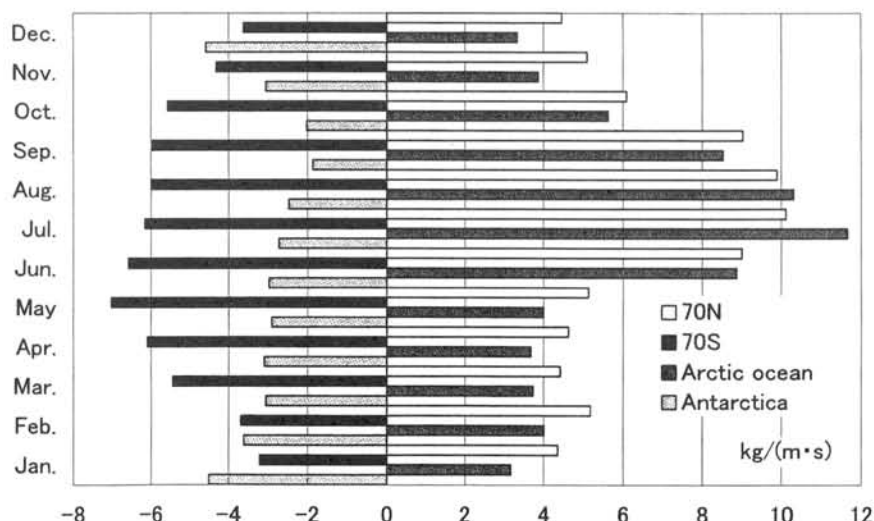
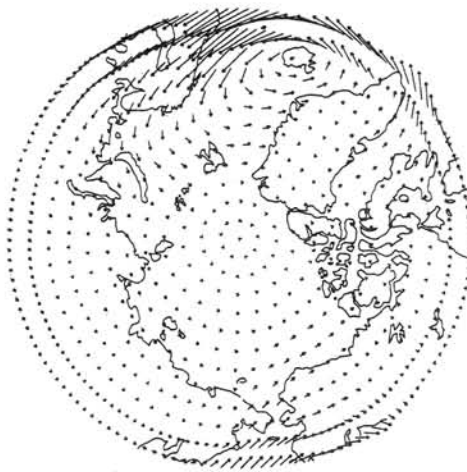
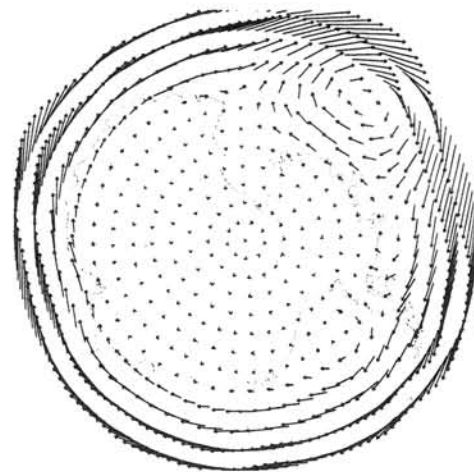


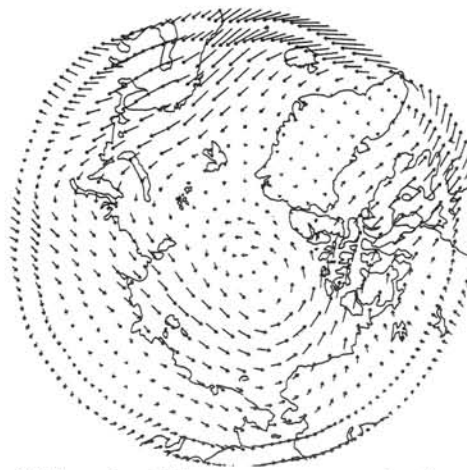
図 1. 北極海、南極大陸、70N 以北、70S 以南の領域に流入する MF の季節変化。



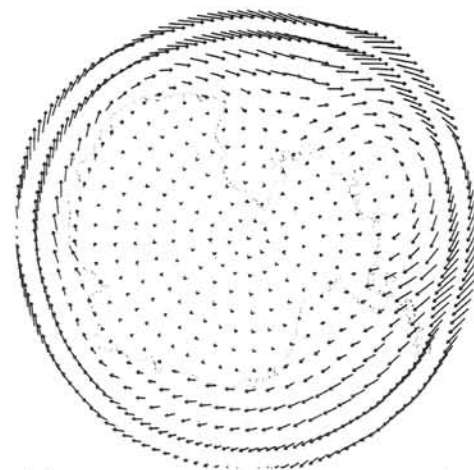
(a)Arctic, DJF. $\frac{1}{20} \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$



(c)Antarctic, DJF. $\frac{1}{20} \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$



(b)Arctic, JJA. $\frac{1}{70} \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$



(d)Antarctic, JJA. $\frac{1}{20} \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$

図 2. AO, AAO index それぞれと MF との回帰, (a)DJF, (b)JJA, (c)DJF, (d)JJA.

70N, 70S での北向き水蒸気フラックスを示す。北極海へ流入する MF は、夏に大きく(7 月にピーク), 冬に小さい。夏は冬の 3 倍程度の大きさとなる。70N でも同様の季節変化が見られるが、北極海の季節変化の方が大きい。また、南極大陸でも同じように夏に大きく(1, 12 月にピーク), 冬に小さい。夏は冬の 2 倍程度の大きさで、北極海の変化よりも小さい。それに対して、70S の MF は冬に大きく(5 月にピーク), 夏に小さいことがわかる。これは西南極の海洋上の MF に起因している。このように、北極海の季節変動は大きく、南極大陸の季節変動は小さい。

AO, AAO との関係 AO や AAO が極域へ流入する MF と関連していることがわかっている(Rogers et al, 2001, Boer et al, 2001)。そこで AO, AAO に伴って MF がどのようなパターンとなるのかを調べた。図 2 は AO, AAO index と MF との回帰図である。北極域では、AO が正のとき、冬季(a)に大西洋から流入する MF が大きく、夏季(b)に大西洋およびアメリカ北東部での MF が大きくなる。基本場では太平洋から北極域への流入があるが、これは AO とあまり関連がないと考えられる。南極域では、夏季(c)と冬季(d)でそれ程大きな差は見られない。AAO が正のときに、南極半島の西側での低気圧循環が強くなる。

VI. 4

南極域における大気循環場からみた空気塊の輸送経路 -1997 年-

鈴木 香寿恵(総研大)、山内 恭、平沢 尚彦(極地研・総研大)

Transportation of Air Parcels based on Atmospheric Circulation in the Antarctic in 1997

K., Suzuki (The Graduate University for Advanced Studies),

T., Yamanouchi, N., Hirasawa (NIPR, The Graduate University for Advanced Studies)

Transportation of air parcels from Syowa station and Dome Fuji station in the Antarctica was calculated by backward trajectory analysis in 1997, with ECMWF analysis data. At Syowa Station, air parcels came from ocean influenced by westerly winds from December to August. But in September, October and November (SON), they came from the west over the continent and ocean. At Dome Fuji Station, those from the interior of the continent were dominant in summer. Remarkably, in SON, air parcels came up to Syowa Station and Dome Fuji Station tend to be transported over inland region for long time.

1. はじめに

南極大陸(氷床)への大気循環を通した水・物質輸送過程の解明は、南極での気象・気候や環境変動研究にとって、非常に重要な課題である。

今回は、1997 年を例にして、南極氷床へ到達する空気塊の輸送経路の季節変化についてまとめ、大気循環場との関連について考察した。また、内陸・沿岸部へ到達する輸送経路について、それぞれの特徴についても考察した。

2. 解析方法

日本の観測拠点である、昭和基地(69° S、39.35° E)・ドームふじ観測拠点(77.19° S、39.42° E)を終点としたバックワード・トラジェクトリー解析を行った。計算には、国立極地研究所富川喜弘氏と佐藤薫氏により開発されたトラジェクトリー計算プログラムを用い、客観解析データ、風 u, v, w (3 次元)、気温を用いて 1 時間ごと 7 日間前まで計算した。

1997 年 1 月から 12 月までの 6 時間ごと、格子間隔 2.5 度の ECMWF 客観解析データを使用した。解析範囲は南緯 45 度以南。

3. 結果

解析結果は高度別についてまとめたが、ここでは、例として 500hPa 高度場の結果について述べる。

i) 昭和基地

図 1 に、昭和基地へ到達する空気塊の輸送経路をそれぞれ 1 月、5 月、9 月について示した。1 月では夏の典型的な輸送経路が見られ、輸送経路長は冬の 5 月と比べると短いことがわか

る。図には示していないが、1 月～8 月の輸送経路は、南極半島側から偏西風に乗って、氷床沿岸に沿った海上輸送の傾向が見られた。

9 月では、陸海問わず西側全域からの空気塊の輸送がされ、その傾向は 11 月まで続く。12 月には 1 月～8 月と同様な海上輸送の傾向が見られる。

以上の結果から、昭和基地での空気塊の輸送経路は、12 月～8 月といった夏から冬の期間では偏西風帯での海上輸送が卓越し、9 月～11 月では西側全域からの輸送がなされている。

ii) ドームふじ

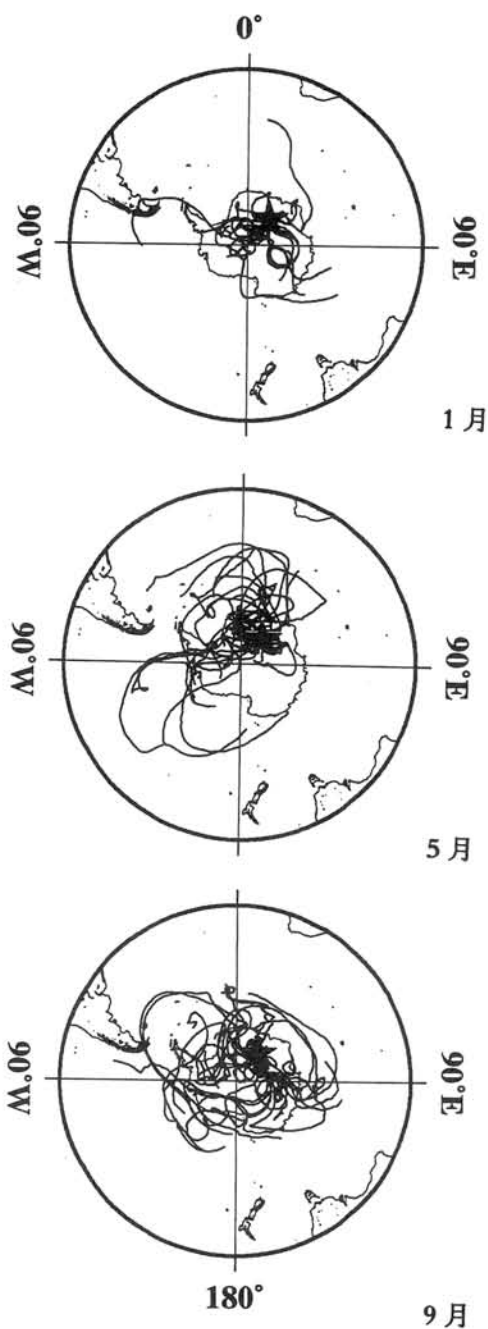
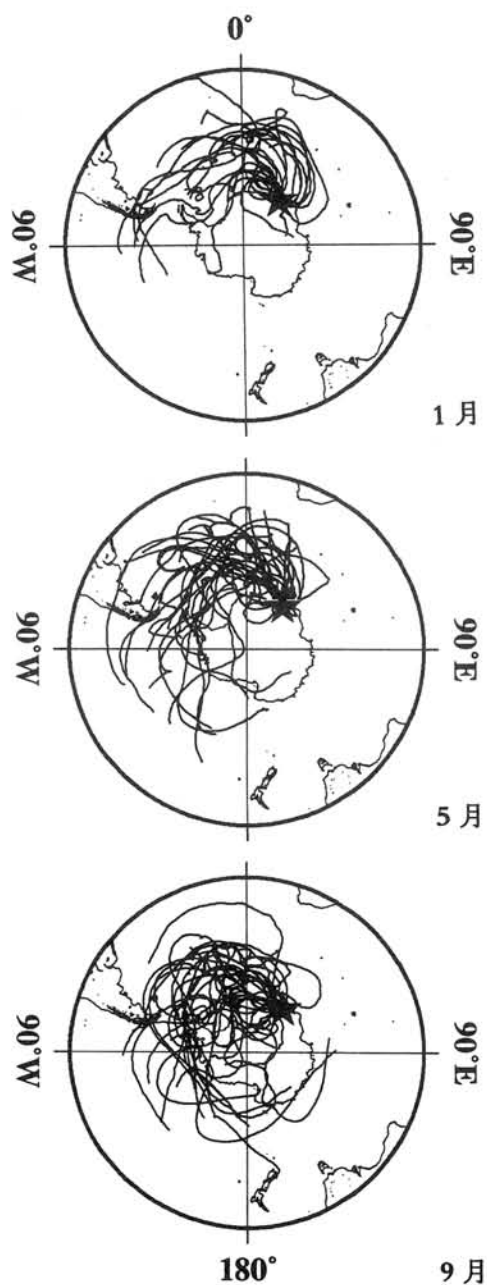
図 2 に、ドームふじ観測拠点へ到達する空気塊の輸送経路をそれぞれ 1 月、5 月、9 月について示した。1 月の空気塊の輸送経路は内陸部で終結しており、外部大気の注入はあまり見られない。また、昭和基地側からの大気の輸送はほとんどなく、これは 1 月～3 月に見られる特徴である。4 月～8 月では、5 月の図で示すように空気塊は、海上から内陸部へ長距離輸送されている。また内陸部での円を描く輸送経路もこの時期に顕著に見られる。

9 月以降、昭和基地側からの輸送が減少し、冬とは違う傾向は、海上起源の空気塊が内陸を蛇行しながら終点に到達することである。しかし、12 月になると輸送経路長は短くなる。

以上の結果から、ドームふじ観測拠点へ到達する空気塊は、12 月～3 月(夏)、4 月～8 月(冬)、9 月～11 月(間季)という三期間について、その特徴を分類された。夏では、内陸部での短距離輸送が卓越し、冬は極渦外からの大気の流入がされ、間季では内陸部の長距離輸送が見られた。

4. まとめ

昭和基地の結果から、昭和基地へ内陸からの空気塊の輸送は一年間を通じて約 3 ヶ月程度の間でしかされておらず、その時期に内陸からの大気流出がされていることが予想される。また同様にドームふじ観測拠点の結果から、同時期に内陸部では空気塊は顕著に長距離輸送されていることがわかった。この、9月～11月における内陸部での大気の輸送過程について、今後調べていくことは南極氷床上での物質輸送過程を明らかにする上で重要であると思われる。



左:図 1.
昭和基地へ到達する空気塊の輸送経路図。
上から 1 月, 5 月, 9 月 (500hPa)。

上:図 2.
ドームふじ観測拠点へ到達する空気塊の輸送経路図。上から 1 月, 5 月, 9 月 (500hPa)。

VI. 5 ドーム F コアから見積もった過去 32 万年間のダストによる 短波長放射強制力の直接効果

○青木輝夫（気象研究所）、藤井理行（国立極地研究所）

Direct effect of shortwave radiative forcing by dust aerosols estimated
from 320-kyr ice core samples of Dome-F in Antarctica

○Teruo Aoki (MRI) and Yoshiyuki Fujii (NIPR)

要旨

南極ドーム F 氷床コアの 32 万年分のダスト及びイオン成分時系列データと放射伝達モデルを用いて、短波長域における晴天時の直接放射強制力を求めた。コアから見積もられた各気候ステージにおけるダストの粒径分布やイオン成分から、ダスト、海塩、硫酸、その他の水溶性エアロゾル光学モデルを作り、各気候ステージにおいて、放射伝達モデルを用いて大気-地表系、地表面、大気に対する放射強制力を計算した。その結果ダストは地表面状態によらず、大気を加熱、地表を冷却する効果を持っているが、大気-地表系に対しては地表が雪面の場合に加熱、海面の場合に冷却に働いた。各気候ステージにおける放射強制力の変化は、コア中のダスト濃度の変動ほどは大きくはなく、また最終氷期でも現在の全球平均程度の大きさであった。

1. はじめに

ダストエアロゾルが気候に与える影響には不確定な要素が多く、IPCC(2001)のレポートでも全球年平均で $-0.6 \sim +0.4 \text{ W/m}^2$ と両符号の放射強制力がエラーバーのみで報告されている。一方、南極氷床コアのダスト粒子を解析することにより、南極域における過去の氷期-間氷期サイクルとダスト変動の関係が明らかになってきた。Fujii *et al.* (2003)はダストと酸素同位対比の関係が単純な反比例関係になっていないことから、ダストが氷期における寒冷化の原因でないとは指摘している。そこで南極ドーム F 氷床コアの 32 万年分のダスト及びイオン成分時系列データを用いて、短波長域における晴天時の直接放射強制力を求めた。

2. 計算手順

過去 32 万年の気候を 19 ステージに分け、ダストの粒径別濃度及び水溶性エアロゾルのイオン濃度の各気候ステージ平均値（図 1）からダスト、海塩、硫酸、その他の水溶性エアロゾルの光学モデルを作った。これら光学モデルと $\delta^{18}\text{O}$ に基づく積雪涵養量から、各ステージにおける大気中の各エアロゾルの光学的厚さを求めた。放射強制力の計算は、放射伝達モデルで大気中にダストがあったときと、なかったときの大気上端と地表面における放射量を計算し、ダストあり・なしの放射量の差から大気-地表系、地表面（雪面と海面）、大気に対する放射強制力の年平均値を求めた。

3. 結果と考察

ダストはどの条件においても、大気を加熱、地表を冷却する効果を持っていたが、大気-地表系に対しては地表が雪面の場合に加熱（図 2）、海面の場合に冷却（図 3）に働いた。各ステージにおける放射強制力の変化は、コア中のダスト濃度の変動ほど大きくなかった。その理由は、氷期において積雪涵養量が減少する効果と、ダストの粒径分布が大きい方にシフトする効果が効いている。氷期における大気-地表系に対する放射強制力の絶対値は、最大（25-27 万年前）でも $+0.329 \text{ W/m}^2$ （雪面）及び -0.665 W/m^2 （海面）で、これら値は現在のダストによる全球平均放射強制力の見積もりと、ほぼ同じ範囲である。

氷期と間氷期の違いをステージ A と B でまとめると（図 4）、ダストはどの条件においても、大気を加熱、地表を冷却する効果を持っているが、前述した様に大気-地表系に対しては地表が雪面の場合に加熱、海面の場合に冷却に働く。同じ気候ステージ内は地表に対する冷却は、雪面の方が海面よりはるかに小さい。この理由は雪面ではアルベドが高いため、ダストによって日射の一部が遮られても、大気中を透過して雪面に達した日射が上向きに反射され、それが大気で再

び下向きに反射される多重反射効果により、最終的に地表に達する日射量の減少は抑えられると考えられる。海面の場合、この効果はほとんどない。また、ダストによる大気の加熱は海面より雪面の方がやや大きい。この理由も上記の雪面-大気間の多重反射により大気中を通過する放射量が海面に比べ多いためと考えられる。従って、海面に比べ、雪面はダストによって冷却されにくく、その上の大気は暖まりやすいと言える。

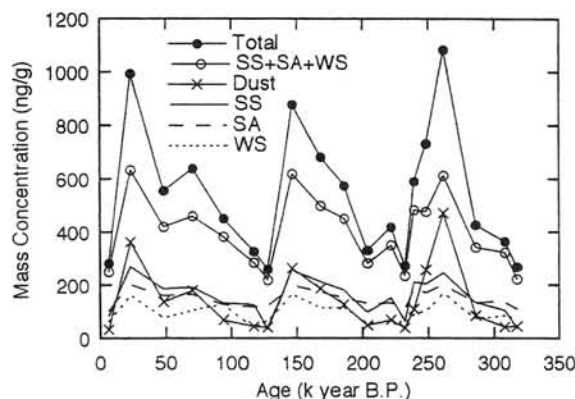


図 1 コアから求めた各気候ステージにおけるダスト(Dust)、海塩(SS)、硫酸(SA)、その他の水溶性(WS)エアロゾルの濃度変化。

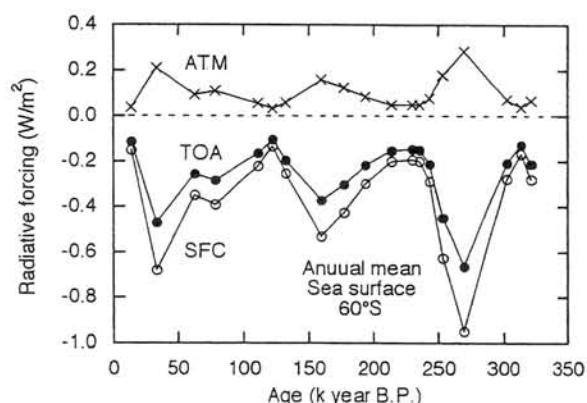


図 3 図 2 に同じ、ただし、南緯 60° の海面における値。

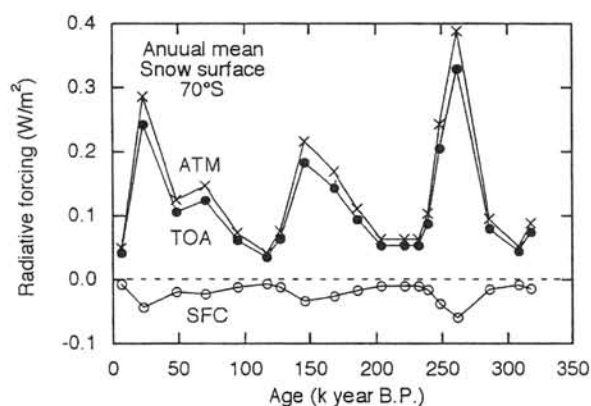


図 2 各気候ステージにおける放射強制力の変化、南緯 70° の雪面における値。

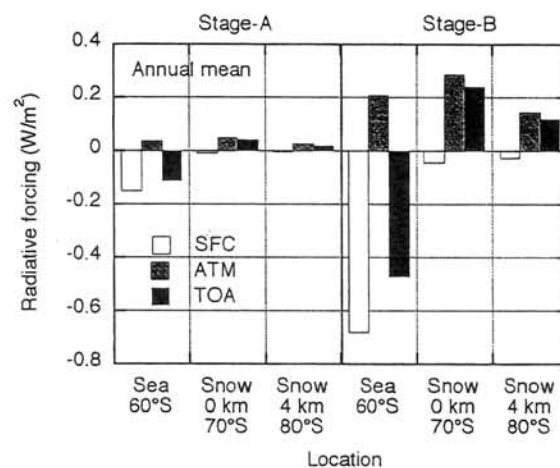


図 4 ステージ A と B における海面（南緯 60°）、雪面（高度 0km、南緯 70°）、雪面（高度 4km、南緯 80°）における放射強制力の比較

VI. 6

氷床コア中塩化メチルの測定に関する研究

斉藤拓也（日本学術振興会、国立環境研究所）、横内陽子（国立環境研究所）、青木周治（東北大）、中澤高清（東北大）

Study on the measurements of methyl chloride in ice cores

Takuya Saito (Japan Society for the Promotion of Science, National Institute for Environmental Study),
Yoko Yokouchi (National Institute for Environmental Study), Shuji Aoki (Tohoku University),
Takakiyo Nakazawa (Tohoku University)

We developed an analytical method to measure the concentrations of methyl chloride (CH_3Cl) in ice cores. It combines a cryogenic preconcentration procedure with gas chromatographic separation and mass spectrometry. Reproducibility with a standard gas was better than 3%. The method was applied to the air samples extracted from ice core and ice berg samples using a dry extraction technique. The observed mixing ratios are significantly higher than the present day atmospheric mixing ratios. The problems and their solutions connected with the measurements of CH_3Cl in ice cores are presented and discussed.

塩化メチル (CH_3Cl) は大気中において最も高濃度で存在するハロカーボンであり、成層圏オゾンの破壊にも関与する重要な化合物である。近年、極域氷床のフィルムの分析から、 CH_3Cl が 20 世紀を通じてほぼ一様な濃度で存在していたことが明らかとなった。塩化メチルは主に自然起源であることから、さらに過去においても大気化学的に重要な役割を担っていたと考えられるが、これまでその分析の困難さから、氷床コア中の CH_3Cl についての報告例はほとんどない。そこで本研究では、氷床コア中 CH_3Cl の濃度測定法についての検討を行なった。

氷床コアから抽出される微量のガス試料から CH_3Cl の濃度測定を可能とするため、6 方弁と真空ラインを組み合わせた試料の損失の少ない試料濃縮装置を構築した。これをガスクロマトグラフ/質量分析計と組み合わせることで、約 10pg の CH_3Cl （濃度 500pptv、10ml の空気試料に相当）を 3%以下の精度で測定することが可能となった。次に氷床コアから空気を抽出する方法として、真空容器中でコアを融解させる方法と低温下の真空容器中でコアを切削する方法の二通りについて、標準ガスと切削後の氷床コア試料を用いて検討した結果、切削法が適当な手法であることが明らかとなった。また、低温切削装置を含む分析法全体のブランクは、約 50 pptv であることが示された。これらの手法を用いて氷床コアや氷山水の分析を行なったところ、高濃度の CH_3Cl と共に種々のフロン類が検出されたことから、これらのサンプルが汚染されている可能性が示唆された。講演では、これらの汚染の原因とその対策について報告する。

VI. 7 北部北太平洋表層－洋上大気間における硫化ジメチルの季節的比較

荒波一史 (国立環境研究所)

Seasonal comparison between oceanic and atmospheric dimethylsulfide in the northern North Pacific

Kazushi Aranami (National Institute of Environmental Studies)

Dimethylsulfide (DMS) concentrations in the surface ocean and marine boundary layer (MBL) were measured in the northern North Pacific during summer (13 July – 24 July and 31 August – 6 September, 1997) and autumn-winter (4 November – 14 December, 1998).

Mean DMS concentrations in surface seawater of the Pacific Subarctic Gyres-West (PSAG-W) decreased from 4.3 ± 3.2 nM ($n = 22$) in summer to 0.6 ± 0.3 nM ($n = 16$) in autumn-winter.

Mean DMS concentrations in the MBL over PSAG-W decreased from 11.1 ± 6.4 nmole/m³ ($n = 31$) in summer to 2.5 ± 1.7 nmole/m³ ($n = 31$) in autumn-winter, while mean DMS fluxes from surface seawater into the MBL estimated using Nightingale *et al.* (2000) did not widely decreased from 9.6 ± 13.4 μ mole/m²/day ($n = 22$) in summer to 4.7 ± 3.9 μ mole/m²/day ($n = 16$) in autumn-winter. During the autumn-winter cruise, the atmospheric DMS concentrations showed short-term variation coincident with the passage of a low pressure area. The observation suggested that the low concentrations of atmospheric DMS in autumn-winter would be caused by the strong mixing processes mainly.

Mean DMS turnover times in the surface ocean (0 – 100 m) were ~2 weeks independently of areas and seasons. Similarly, the low concentrations of sea-surface DMS in autumn-winter would be produced by the strong mixing.

硫化ジメチル (DMS) は、海洋表層の生物活動により生成し、洋上大気 (MBL) 中に放出される。そして MBL 中で酸化されて硫酸塩エアロゾル (nss-sulfate)、さらに雲の凝結核 (CNN) となり、大気化学や地球規模の気候変動に重要な役割を果たしている。

表面海水中の DMS は、中高緯度で高濃度であり、強い季節性を示す。汚染のない MBL 中では、DMS やその酸化物 (MSA, nss-sulfate, CNN) も同様の季節性を示す。しかし、海洋表層と MBL 間における DMS のこの季節的同調性を定量的に議論した研究はほとんどなかった。

我々の以前の研究では、海洋表層と MBL が物理的に安定な夏の北部北太平洋において、DMS 濃度の海域的な違いを検出し、海洋表層における生物地球化学的生成過程 (Aranami *et al.*, 2001) と MBL 中における大気化学反応過程 (Aranami *et al.*, 2002) を議論した。今回の発表では、海洋表層と MBL が物理的に不安定である秋から冬にかけてのデータを加えることで、DMS 濃度の季節的な違いを検出し、海洋表層-MLB 間における DMS の季節的同調性を定量的に議論した。

西北部北太平洋 (PSAG-W) において、表面海水中では、夏に 4.3 ± 3.2 nM ($n = 22$)、秋から冬に 0.6 ± 0.3 nM ($n = 16$) となり、洋上大気では、夏に 11.1 ± 6.4 nmole/m³ ($n = 31$)、秋から冬に 2.5 ± 1.7 nmole/m³ ($n = 31$) となった。

Nightingale *et al.* (2000) の式を用いて風速から求められた気体交換係数に、表面海水濃度を掛けて算出された洋上大気への DMS 放出量は、夏に 9.6 ± 13.4 μ mole/m²/day ($n = 22$)、秋から冬に 4.7 ± 3.9 μ mole/m²/day ($n = 16$) となった。また、秋から冬の MLB 中では、数日おきの低気圧の通過に対応した DMS の短期変動が検出された。これらの現象は、秋から冬の MLB 中での DMS の低濃度が、洋上大気の鉛直混合により希釈されたことを示す証拠である。

海洋表層 (0–100 m) における DMS インベントリーを DMS 放出量で割って算出された DMS の平均滞留時間は、季節や海域に関係なく約 2 週間となった。これは、秋から冬の表面海水中での DMS の低濃度もまた、鉛直混合による希釈効果が大きいことを示唆する。

以上のように、北部北太平洋表層-洋上大気間における DMS の季節的観測データに基づき定量的に議論した結果、中高緯度での海洋表層-MLB 間における DMS の強い季節性は、主に鉛直混合過程に起因することがわかった。

VII. 1

オホーツク海高気圧に対応したリッジ発達に対する春期の雪氷の影響

河合 隆繁 (日本大学)

Effect of snow and ice condition in spring on a development of ridge over the Okhotsk High

Takashige KAWAI (Nihon University)

Development of ridge over the Okhotsk High in July and snow and ice condition in spring are investigated. Years of developing the ridge, plus anomaly of snow cover in the Siberia and plus anomaly of sea ice concentration in the Barents Sea in May. Plus anomaly of them show late of snow and ice melting. Late snow and ice melting cause trough at the North Siberia in June. Continuous trough-ridge pattern affects to another person.

1. はじめに

初夏のオホーツク海高気圧は、東アジア北部の天候に大きな影響をあたえる。このため、さまざまな角度からその発生要因の研究がおこなわれている。加藤(1995)は、その影響は未知数としながらも、オホーツク海高気圧を形成する場として、ユーラシア大陸の乾燥地帯の地面加熱の影響を指摘している、さらに、高緯度での下層気温の東西の熱的コントラストが大きくなる時期とオホーツク海高気圧の出現頻度が高くなる時期が対応していることは興味深いと述べている。一方、安成(1989)は、融雪の遅れが大気加熱を抑制するため、ユーラシアの積雪が夏のインドモンスーンの強弱に影響をおよぼすことを指摘している。その影響は、インドモンスーンばかりではなく、ユーラシア大陸とオホーツク海および北太平洋の間の季節風にも影響をおよぼすものと考えられる。そこで、本研究では、オホーツク海高気圧に対応した 500hPa リッジの発達と、春季の積雪域・海氷域の関係を調べた。

2. データと解析方法

積雪・海氷域は SSM/I データをもとに NOAA/NESDIS が解析したデータを使用した。気象データは、NCEP/NCAR 再解析データを使用した。オホーツク海高気圧に対応したリッジ発達の指数として、 50°N – 65°N , 130°E – 150°E の月平均 500hPa 高度を使用した(図 1)。1988 年から、2003 年の 16 年間のうち、指数とした 500hPa 高度の 7 月の月平均が 5700m よりも大きかった年を解析対象年とした(図 2)。解析期間は、

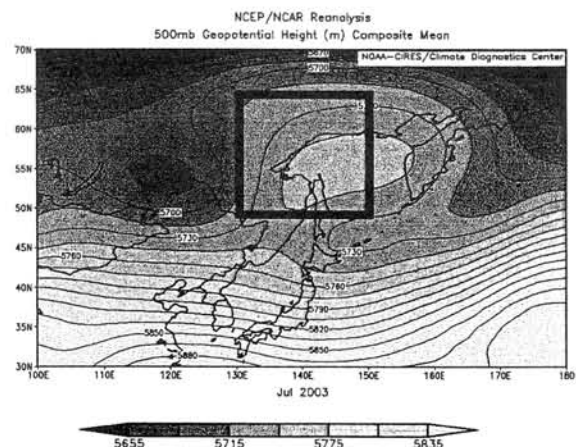


図 1. 2003 年 7 月のオホーツク海周辺の月平均 500hPa 高度 枠線は月平均指数の平均範囲

1988 年から 2003 年の 16 年間である。図 2 より、リッジ発達年は、1988 年、1993 年、1998 年、2003 年である。図 1 はリッジ発達年(2003 年)7 月の月平均 500hPa 高度である。

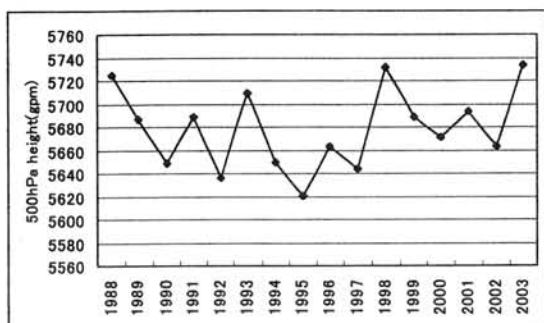


図 2. 7 月の 500hPa リッジ発達指数の時系列

3. 結果と考察

解析対象年の 5 月の雪氷域の平年偏差を表 1 にまとめた。解析対象年の 5 月は、いずれもシベリア西部の積雪日数とバレンツ海北部の海水日数が平年よりも多かった。また、2003 年を除く解析対象年で、シベリア東部でも積雪日数が多かった。1988 年、1993 年、1998 年 6 月の 500hPa 高度をみ

表 1. リッジ発達年の 5 月の雪氷の平年比
対象エリアの 10%間隔コンターの絶対値のもっとも大きい値を示した。シベリアの東西の境界はエニセイ川である

対象年	2003	1998	1993	1988
シベリア西部の 積雪日数	-40%	+40%	+40%	+40%
シベリア東部の 積雪日数	+20%	+40%	+20%	+30%
バレンツ海北部の 海水日数	+50%	+50%	+40%	+50%

ると、シベリアの 90° E 付近にトラフが発達している(図 3)。2003 年は、トラフの軸が他の 3 年と比べ、東寄りであるが、これは、融雪の遅れがシベリア西部ではみられなかったことと一致している。5 月にシベリアで融雪の遅れると、6 月は下層の大気が加熱されにくくなるため、北極から、寒気が流入しやすくなる。これが、亜寒帯の 500hPa の東西流の蛇行を強める。蛇行が強い状態で、7 月になり、東西の熱的コントラストが大きくなると、海洋と大陸の境界である、極東からオホーツク海にかけての地域でリッジが発達するものと考えられる。

参考文献

- 加藤内蔵進, 1995: やませに関連するオホーツク海高気圧の総観的特徴, 気象研究ノート, 183, 67-90.
- 安成哲三, 1989: ユーラシア大陸の積雪と ENSO-雪氷・大気・海洋結合系の提唱-, 地学雑誌, 98, 613-622

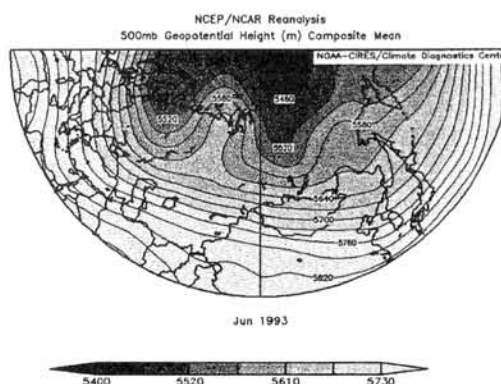


図 3. リッジ発達年の 6 月の 500hPa 高度場
1993 年の例

Ⅶ. 2 冬季北半球海氷域変動と大気循環場変動とのかかわり —NAO 及び ENSO との関連—

本田明治¹, 浮田甚郎², 中村 尚^{1,3}, 立花義裕^{1,4}, D. J. Cavalieri⁵, C. Parkinson⁵, 小出 寛⁶

1: 地球フロンティア 2: コロンビア大 3: 東大 4: 東海大 5: 米航空宇宙局 6: 気象庁

Northern Hemisphere sea ice variability and its linkage to the NAO and ENSO

M. Honda¹, J. Ukita², H. Nakamura^{1,3}, Y. Tachibana^{1,4}, D. J. Cavalieri⁵, C. Parkinson⁵ and H. Koide⁶

1: FRSGC 2: Columbia Univ. 3: Univ. Tokyo 4: Tokai Univ. 5: NASA 6: JMA

Northern Hemisphere (NH) winter-to-winter sea-ice variability is characterized by two modes. One mode is spatially dominant and consists of a pair of synchronous seesaws over the North Atlantic and Pacific. This mode is linked to the North Atlantic Oscillation (NAO) and additional atmospheric anomalies over the North Pacific. The other mode is temporally orthogonal to the first mode and represents remote influence of El Niño-Southern Oscillation (ENSO) mainly over the North Pacific. This pair of modes accounts for a substantial part of variability in the NH wintertime sea-ice cover, suggesting a close linkage between hemispheric-scale sea-ice and global climate variability.

1. はじめに

冬季北半球海氷域の変動特性についての研究は、北大西洋セクターのラブラドル海 (Labrador: LA) とグリーンランド海～バレンツ海 (まとめて Nordic seas: NR)、及び北太平洋セクターのオホーツク海 (Okhotsk: OK) とベーリング海 (Bering: BE) の各季節海氷域の変動、または NR-LA 間、OK-BE 間の両大洋内のシーソー関係など、領域限定の解析が中心であった。これら季節海氷域全体 (半球規模) の変動特性の理解を目指した研究も最近見られるが (Deser et al. 2002 など)、使用する海氷データの問題などもあり、十分な議論はされていない。

これまでの研究から、NR-LA のシーソーと北大西洋振動 (NAO) との密接な関係、また OK と BE それぞれのエルニーニョ/南方振動 (ENSO) との関連など指摘されている。本研究ではより信頼度の高い海氷データに基づいて、この 4 海域の半球規模の変動特性、更に冬季北半球循環場において主要な変動である NAO と ENSO との関連をグローバルな観点から理解することを目的とする。

2. データと解析準備

海氷資料は NASA 提供の SMMR 及び SSMI マイクロ波センサー計測の密接度データ (SIC) を用いた。均質なデータの得られている 1979～2000 年の 22 年間について、面積が最も拡大する 2～3 月の平均をその冬の勢力の指標として、その年々変動に着目する。大気及び海面水温 (SST) のデータは、それぞれ NCEP-NCAR 再解析、ハドレーセンターの HadCRUT2 を用いた。NAO はアゾレス諸島とアイスランドの海面気圧 (SLP) 差 (Hurrell 1995)、ENSO は西部熱帯太平洋の Nino3.4 領域の海面水温 (SST) をそれぞれ指標とした。本解析で、相関係数の 95% と 99% の有意水準はそれぞれ 0.42 と 0.53 である。

3. 結果

初めに、統計的に最も卓越する変動を求めるために SIC に EOF を施した。図 1 は第 1 モード (SIC-EOF1) の空間パターンとその主成分時系列 (SIC-PC1) である。ユーラシアセクター (OK と NR) と北米セクター (BE と LA) の間の半球規模のシーソーが明瞭に認識される。この 4 海域の海氷域面積 (SIE) のみに EOF を施して得られる主成分時系列 (SIE-PC1) は SIC-PC1 と 0.95 の相関を持っており、以下この 4 海域の海氷域面積と SIE-PC1 に基づいて議論を進める。SLP の SIE-PC1 への線形回帰を取ると、NAO をよく反映したパターン (図 2) が得られる (NAO と SIE-PC1 の相関は 0.47)。

この SIE-PC1 と OK と BE の差及び NR と LA の差の時系列間の相関はそれぞれ 0.77 と 0.93 で、北太平洋及び北大西洋内の海氷シーソーの同期関係とも捉えられ、実際両者の相関も 0.64 に及ぶ。更に海面気圧 (SLP) の両時系列への線形回帰を取ると、両者の空間パターンはいずれも図 2 とよく似たものになる。NR-LA 間の海氷シーソーのみならず、OK-BE 間のシーソーへの NAO の関与を示唆するものである。

続いて ENSO との関係を調べる。年々変動において ENSO は NAO とほぼ無相関であることが知られており、SIE-PC1 とほとんど相関は無かった。ENSO の影響が海氷変動にもし現れるとすれば、EOF1 とは統計的に無関係な部分に反映されると期待できる。このことを考慮して、4 海域の海氷域面積時系列に対して EOF1 の影響を SIE-PC1 を用いて線形回帰によって除去した時系列を求め、それらを合成したものを EOF1 の残差時系列とした。予想通り ENSO とは有意な相関 (0.56) を持つ。SIC との線形回帰図はこの 4 海域が同位相で変動するようなパ

ターン（図略）で、残差時系列は北半球全海氷域面積と 0.74 の相関を持つ。特に北太平洋セクターでの ENSO の影響を強く反映して、OK+BE の海氷域面積との相関は 0.87 に及ぶ。実際、ENSO は各 4 海氷域面積といずれも弱い正の相関を持ち、そのトータルな寄与として北半球の全海氷面積との相関も 0.46 に及ぶ。

4. 結論と議論

冬季北半球の海氷変動は、NAO 及び ENSO の 2 つの主要な変動と密接にかかわっていることがわかった。年々変動の特徴を EOF に基づいて調べたところ、第 1 モードの北太平洋内（OK-BE 間）及び北大西洋内（NR-LA 間）の海氷シーソーが同期するような、シベリアセクターと北米セクター間の半球規模の海氷シーソー変動で、対応する大気場は NAO を本質的に反映する。一方、第 1 モードと時間的に直交するモードは 4 季節海氷域が全て同位相で変動するもので、ENSO の振る舞いが北半球の全海氷面積の多少に関わっていることを示すものである。

本研究は、まだ統計的な関係を見出した段階で、NAO や ENSO の海氷変動へ影響のメカニズムの未解明な部分に今後焦点を充てていきたい。特に、図 2 にみられるカムチャッカ半島の付け根付近に見られる有意な偏差場の解釈を含め、NAO と北太平洋セクターの変動の関係は更に突き詰める必要がある。また ENSO については対する大気場の応答の非対称性 (Hoering et al. 1997) を考慮して進めていくことが、メカニズム解明の糸口となりそうである。

残差時系列（または ENSO）と全海氷面積変動の有意な関係は先に示した通りだが、PC1 時系列（図 1）とも 0.61 の有意な相関を持つ。これは海氷シーソーに伴う面積の非対称性（OK+NR > BE+LA）と、PC1 にみられるトレンドが近年の全海氷面積の減少傾向 (Cavaliere et al. 1999) を含んでいることを反映しているものと考えられる。

今回の研究は年々変動に限定した解析であるが、この 4 海域の間に一夏を越えた翌冬との有意な関係や、更に 2 年越しの関係の存在を示す結果も出てきている。このような季節進行を含めた多年変動とそれをもたらすメカニズムを、海洋変動や冬季に変動の少ない暖候期の雪氷域変動（北極海、陸域の積雪など）との関連も含め今後解明していきたい。

謝辞

海氷密度データの基礎処理及び EOF 計算を実施して頂いた山本健太郎氏（東海大）に感謝申し上げます。

参考文献

- Cavaliere et al. 1997: Science, 278, 1104-1106.
Deser et al. 2000: J. Climate, 13, 617-633.
Hoering et al. 1997: J. Climate, 10, 1769-1786
Hurrell 1995: Science, 269, 677-679.

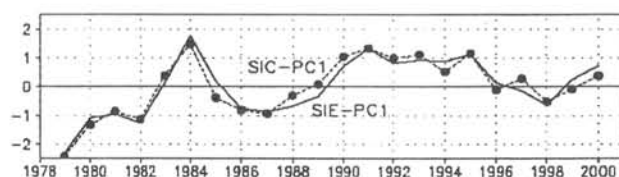


図 1. 1979～2000 年の 2～3 月平均海氷密度 (SIC) に対する EOF 第 1 モードの標準化した主成分時系列 (SIC-PC1、下図) と、その線形回帰係数の分布図 (上図)。係数は SIC-PC1 が単位標準偏差増加した際に予想される密度偏差で、間隔は 5% (0 の等値線は略)。陰影は SIC-PC1 と各点の SIC 時系列の相関係数が 95% の信頼限界で有意な領域。OK はオホーツク海、BE はベーリング海、LA はラブラドル海、NR はグリーンランド海～バレンツ海。下図の SIE-PC1 (実線) はこの 4 海域の海氷域面積に対する EOF の第 1 主成分時系列。

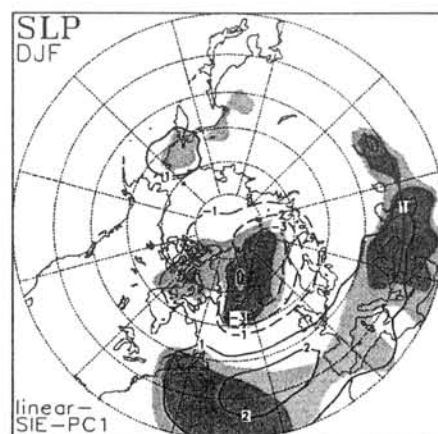


図 2. 図 1 上に同じ。ただし 1978/79～1999/2000 年の 12～2 月平均海面気圧 (SLP) の SIE-PC1 への線形回帰係数の分布図、間隔は 1 hPa。薄い陰影と濃い陰影はそれぞれ 95% と 99% の信頼限界で有意な領域。

VII. 3

AAMP98 期間中に観測されたノルウェー海上のポーラーローの数値実験

遊馬芳雄(北大・院理)・塩原匡貴・和田 誠(極地研)・G.W.K. Moore(カナダ・トロント大)

Numerical Experiments on the Polar Low over the Norwegian Sea Observed during AAMP98

Y.Asuma (Hokkaido University), M.Shiobara, M.Wada (National Institute of Polar Research)

and

G.W.K.Moore (University of Toronto, Canada)

Numerical experiments were carried out to simulate a polar low observed over the Norwegian Sea during AAMP98 (Arctic Airborne Measurement Program '98) with polar mm5. Results show the polar low almost properly simulated. This polar low is formed by the interaction between the low level baroclinicity and upper level potential vorticity anomaly. The air parcels near the polar low center have fetch over the open sea surface. They are supplied heat and moisture from the sea surface, advected into the polar low center and caused strong convections.

1. はじめに

AAMP98 期間中の 1998 年 3 月 9 日にノルウェー海上で発生したポーラーローの航空機観測を行った。この時の NOAA 赤外衛星画像と飛行経路を図 1 に示した。この航空機観測結果の詳細については南極資料(46 巻 243-260)等で報告している。本発表では、このポーラーローの発生メカニズムを調べるために、polar mm5 (極域用 NCAR/PSU mm5) を用いて再現実験を行った。

2. 初期値、計算領域等

初期値として 1998 年 3 月 8 日 00UTC の気象庁全球客観解析データ(GANAL)を用い、海面温度(SST)はアメリカ National Climate Data Center (NCDC)、海氷分布は National Snow and Ice Data Center (NSIDIC)に保存されているデータを用いた。ポーラーローは 9 日 12UTC に形成されていたので、その 36 時間前から計算を開始した。計算領域は 3 重の 2 way nested domain を用い、それぞれ格子間隔は 27km、9km、3km で、格子数は 100×120、166×181、280×334 である。外側の 2 つの計算領域には Grell の積雲パラメータリゼーションを用いているが、最も細かい計算領域には積雲パラメータリゼーションを用いていない。雲物理過程は霰を

考慮したパラメータリゼーションを用いた。

3. 計算結果とまとめ

36 時間後の 9 日 12UTC、発生位置が若干東にずれたがほぼ正しくポーラーローが再現された(図 2)。このポーラーローはグリーンランド沖の氷原からの寒気の吹き出しとノルウェー半島沖の弱い東風によって作られる下層傾圧帯に上層の短波トラフのジェットが追いつく形で形成されていた。ポーラーロー中心部(Core)のバックトラジェクトリー解析を行ったところ、ほとんどの空気塊は下層のノルウェー海沖の弱い東風によって、海氷に覆われていない海面上を水走し中心部に進入していた。空気塊は海面上を水走することで熱と水蒸気の供給を受けポーラーロー中心部での強い対流の原動力となっていた。

次に、航空機観測に対応する領域でのモデルの計算結果と観測結果を比較したところ、定性的には温度分布や風の分布、氷晶や雪粒子、霰の分布は観測結果と良い一致が見られた。具体的には東西の強い温度勾配、下層での強風はほぼ再現され、雲粒は下層に多く、上層に氷晶、中層には雪粒子、下層に霰粒子が分布している様子が再現されていて、航空機観測結果とも定性的には一致していた。

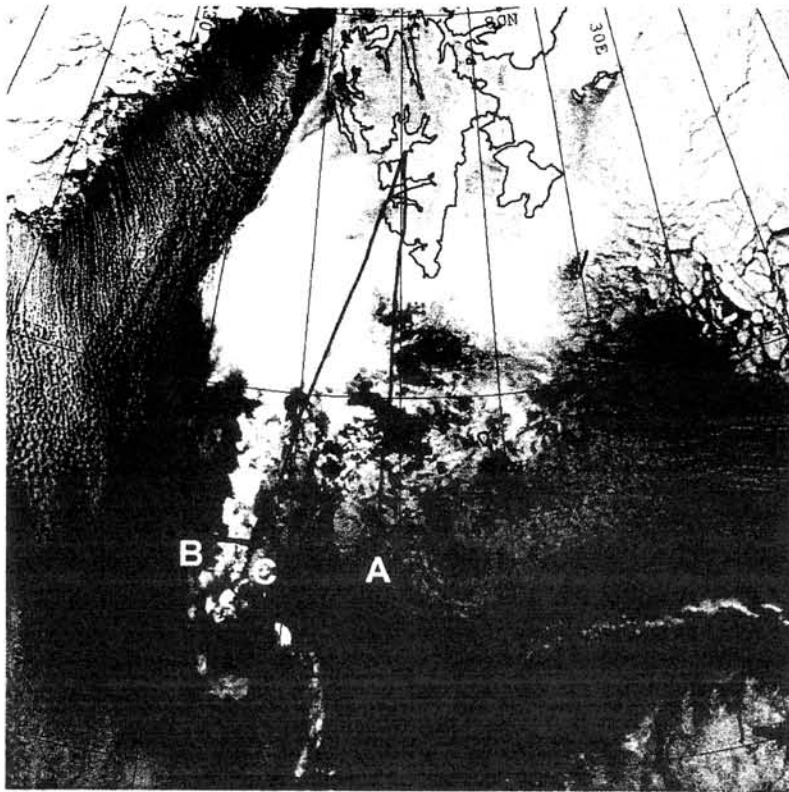


図 1 AAMP98 で観測したポーラーローと航空機の飛行経路.

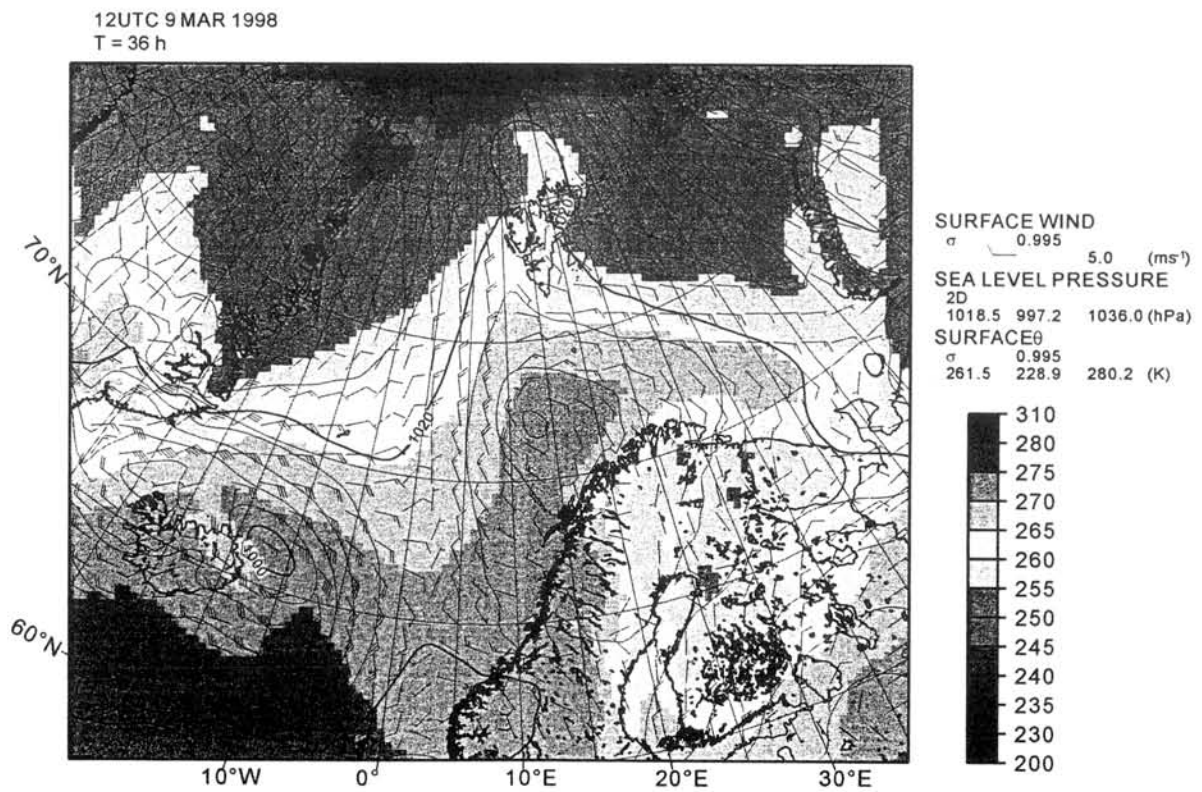


図 2 polar mm5 で再現されたポーラーロー. 計算開始 36 時間後の 3 月 9 日 12UTC の海面気圧, 地上温位, 地上風.

北極振動研究における力学的固有モードと 強制中立モードの解析

VII. 4

田中博 (筑波大 地球科学)

Analysis of the Dynamical Eigen Mode and Least Damped Mode in the Study of the Arctic Oscillation

H.L. Tanaka (Univ. of Tsukuba)

In this study, we analyzed the least damped mode of the linearized dynamical system proposed by Kimoto et al. (2001, GRL, 737-740) using the barotropic S-model (Tanaka 2003, JAS, 1359-1379) which can simulate the Arctic Oscillation (AO). The least damped mode is compared with the eigen mode of the same dynamical system to find which is more appropriate to explain the AO. Although both are derived from the same dynamical system, the former is considered as a forced mode excited by a random noise, whereas the latter is considered as a free normal mode of the system.

According to the result of the analysis, we find that the structure of the least damped mode coincides with the free eigen mode of the system. Importantly, neither of them is similar to the structure of the AO. It is shown that the AO may be understood as the forced response to the transient baroclinic eddies along the storm tracks, which cannot be explained neither by the least damped mode nor the free eigen mode by the linear framework.

1. はじめに

北極振動 (Arctic Oscillation: AO) とは北極圏とそれを取り巻く中緯度帯の間の気圧場の南北振動のことで、近年、大気の大規模変動やテレコネクション、地球温暖化の研究において特に注目されている。AO は地上気圧場の EOF-1 として定義されるが、本研究では AO や NAO、環状モード (NAM) の違いには深入りしないことにする。

北極振動の物理的な実態や力学的な成因解明に向けた研究は数多くなされているが、それらを分類すると、(1) 対流圏-成層圏結合システムとして成層圏起源で生じると解釈する説、(2) 大気の準定常ロスビー波が大洋間を伝播することで生じると解釈する説、(3) 大気の環状固有モードが非定常擾乱で強制されて生じると解釈する説、(4) 大気の環状中立モードが非定常擾乱で強制されて生じると解釈する説、(5) ストームトラックに沿った非定常擾乱が帯状流を加速・減速することで形成されるとする説、などが挙げられる。上記仮説の中で、(1) と (2) は一部の事例の説明としては理解できるが、より包括的な理論としては不十分と考えられる。(3) は力学系の自由モードであるのに対し (4) は外力で励起される強制応答であり、解釈に違いがある。また、(5) では環状モードというエネルギーの受け皿となる線形力学モードは存在しない。

本研究では、上記仮説の (3) と (4) を検証する目的で、これまでに北極振動や PNA などの大規模変動の再現が確認されている順圧大気大循環モデル (順圧 S-モデル) を冬季の基本場で線形化し、その力学的固有モードと強制中立モードの解析を行い、比較検討を行った。

2. 固有モードと中立モード

本研究で用いたモデルは Tanaka (2003, JAS, 1359-1379) で示した順圧 S-モデルで、それは従属変数 (u, v, ϕ) を 3-D スペクトル展開した順圧展開係数 w_i で表される。この方程式系を冬季の気候値を基本場にして線形化すると以下の式を得る。

$$\frac{d}{d\tau} W = -iDW - iBW - iCW^* + F$$

ここで、 W は展開係数 w_i からなる複素ベクトル、 D はラプラス潮汐振動数からなる対角行列、 B と C はそれぞれ正と負の東西波数の変数に対してまとめた複素行列で、基本場に依存すると同時に傾圧不安定や地形効果などの外力も含む。 F はその他の外力でほぼホワイトノイズに近い。

次に $W = W_R + iW_I$ のように実部と虚部に分けて上式を実数の式に書き直すと

$$\frac{dx}{d\tau} = Ax + f$$

となる。ここで、 x は (W_R, W_I) からなる実数ベクトルで、 A は D, B, C から決定する実数行列、 f は外力で実数である。外力 f を無視し、時間変化項に振動数 ν を代入して、上式の固有値問題を解くと、力学系の固有解として以下の固有モードが得られる。

$$\nu x = Ax$$

一方、定常を仮定し、 $0 = Ax + f$ の強制問題に対し $A = U\Sigma V^T$ のように特異値 (SVD) 展開して x について表すと、

$$x = -V\Sigma^{-1}U^T f$$

となり、外力 f に対し最も励起されやすい Least damped モード v_1 が特異値 Σ の最小値に付随して求められる。これは定常を仮定しているので、中立モードと呼ばれる (Kimoto et al. (2001, GRL, 737-740)。力学的に、前者は自由モード、後者は強制モードという解釈の違いがある。

3. 結果

図1は冬季 (DJF) の気候値を基本場にして順圧 S-モデルを線形化し、 A の特異値問題を解いて得られた Least damped (中立) モード v_1 の構造である。中立モードの構造は、北極を中心に北欧からアラスカに渡る正の領域、カナダと東シベリアに中心を持つ負の領域によって特徴づけられる。次に、この構造を A の固有値問題を解いた結果と比較した。固有値が実数の解は定在波となるが、その中で増幅率 (減衰率) が最小のモードの構造を図2に示した。解析の結果、両者の構造はほぼ一致し、強制応答としての中立モードと大気的自由振動としての固有モードとが、実は同じモードを見ていることが確認された。前者は強制振動の問題であるが、その構造は固有振動を決定する線形行列によってもたらされており、外部強制の構造には依存しないことが分かる。そして、どちらも北極振動や NAM とは同定できない構造をしていることが示された。一方、図3は非線形項を線形化した行列 NL に、 ∇^4 で近似した粘性項 DF だけを加えて求め直した SVD-1 の結果であり、粘性項のスケール依存に応答して AO に似た構造が得られた。固有解にも全く同様の構造が検出される。しかし、行列 NL だけからなる力学系では AO に似た構造は得られず、モデルに含まれるすべての線形項を考慮した力学系では図1や図2のようになることから、恣意的に選んだ線形行列による解析結果から AO を説明することは困難であることが示された。

4. 北極振動の力学的考察

本研究の結果から、北極振動は任意の強制に対し選択的に励起される中立 (Least damped) モードでもなければ、大気の力学的固有モードでもないと考えられる。上記仮説の (3) でも (4) でもないとすると、(5) の仮説、つまりストームトラックに沿う非定常擾乱が帯状流を加速・減速することで AO の構造が形成されると考えるのが妥当と言える。北極振動の環状構造を決めているのは、線形な力学モードの構造ではなく中緯度のストームトラックの位置と考えられる。ストームトラックは大気の傾圧性の分布に依存し、それはハドレー循環が駆動する亜熱帯ジェットの影響に依存する。以上から (5) が北極振動の力学的成因と考えられる。

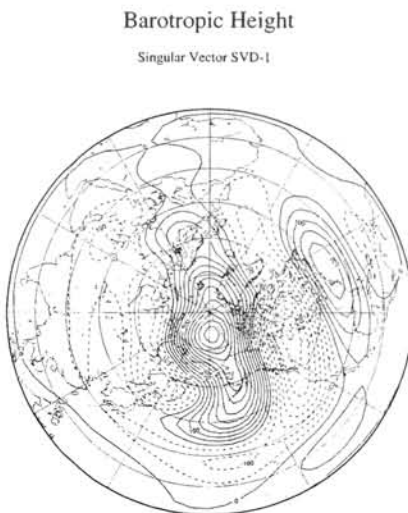


図 1

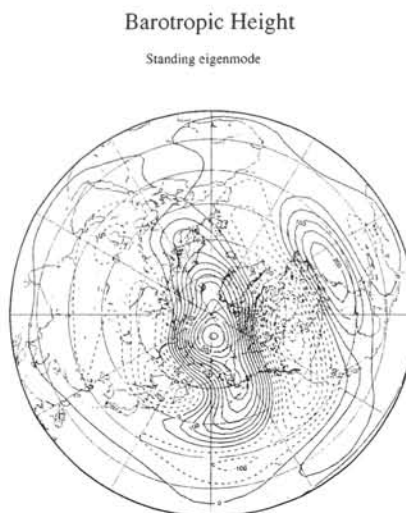


図 2



図 3

北半球海氷シーソーとNAOとの負のフィードバック

山本健太郎(東海大学),立花義裕(地球フロンティア、東海大学)

本田明治(地球フロンティア),浮田甚朗(NASA)

A NEGATIVE FEEDBACK BETWEEN THE NORTHERN HEMISPHERE SEA ICE AND THE NAO

Kentaro YAMAMOTO(Tokai University),Yoshihiro TACHIBANA(Frontier Research System)

Meiji HONDA (Frontier Research System), Jinro UKITA (NASA)

Temporal and spatial variability of sea ice in the northern hemisphere is a critical component of the global climate. This study presents a hemispheric scale modal structure in wintertime sea ice variability on interannual time scales and discusses its interaction to the NAO. The leading spatial structure given by an EOF analysis for the SMM/R-SSM/I satellite dataset of the sea ice shows a seesaw (an out-of-phase) pattern in the field of hemispheric scale sea ice concentration. The seesaw consists of one polarity in Eurasian side, i.e., from the Sea of Okhotsk through Barents Sea, and the other polarity in American side, i.e., the Bering and Labrador Seas. A regression map of the time series of the EOF leading mode of the sea ice onto the global atmosphere in December and January are remarkably similar to the NAO pattern, whereas the regression of the time series of the ice EOF with the SLP field in February and March shows no connection to the NAO. We further execute an ideal AGCM in order to isolate the influence of the hemispheric ice seesaw upon the global atmosphere. In the model, an ideal seesaw-like sea-ice distribution based on the EOF leading mode is used as the surface boundary condition. The response of the SLP pattern to the sea-ice seesaw is similar to the NAO pattern, however the phase is opposite to the pattern shown above. These results suggest that in the first half of the winter the hemispheric ice seesaw is built in response to the NAO, whereas in the latter half of the winter, the ice seesaw destroys the NAO. Therefore, a possible cause of the less persistency of the NAO through the winter is in the negative feedback between the NAO and the hemispheric sea-ice seesaw.

1. はじめに

北大西洋振動 (NAO) は冬の全期間において常に同じフェーズが持続するわけではない。同一季節内での NAO の変動の原因は未解明である。一方海氷は大気に影響を与える事が広く知られている。本研究では半球的な海氷の変動と NAO との相互作用を調べた。まず半球的な海氷変動の卓越モードを調べる為に冬季の SSM/I-SMMR の海氷衛星観測データに対して EOF 解析を予備的に行った。その結果、1 月から 3 月の海氷は東半球が少氷の年は西半球が多氷 (正偏差) となり東半球が多氷の年は西半球が少氷 (負偏差) となるシーソー的な年々変動が卓越していた。ここで東半球とはユーラシア大陸側を示し、西半球とはアメリカ大陸側を示す。本研究ではこの海氷の EOF1 の時系列を海氷年々変動の指標として用いた。

2. NAO が海氷に与える影響

上記の EOF 第一モードの海氷変動と NAO-index の年々変動についての相関を調べたところ 2 月と 3 月の海氷は 1 月の大気と有意な正相関であった。これは冬の前期の大気が冬の後期の海氷変動に対して影響を及ぼしていることが考えられる。一方 1 月の NAO-index で気温場の回帰場を調べた。NAO が正偏差の時には東半球が高温で西半球が低温となり海氷の正偏差パターンの形成に好都合の気温場となっていた。また 2 月の海氷の時系列で 12 月から 1 月にかけての SLP の時間変動場を回帰した。その結果 NAO のパターンが現れ (図 1 (a))、冬の前期の 12 月から 1 月にかけての NAO の発達に 2 月の海氷に影響を及ぼす事が確認できた。

3. 海氷が NAO に与える影響

海氷の変動が大気に与える影響を調べる為に 2 月から 3 月にかけての SLP の時間変動場を 2 月の EOF1 の海氷の時系列で回帰した。その結果こちらにも NAO パターンが現れたが位相は上記とは逆であ

った(図 1 (b))。すなわち 2 月の海氷が正偏差の時には 2 月から 3 月にかけて冬の前期で卓越した NAO の正偏差のパターンが減衰していく。この結果は海氷が NAO のパターンを破壊する可能性を示唆している。次に海氷が大気に及ぼす影響を確認する為に大気大循環モデル (AGCM) を用いて海氷の正偏差の分布を境界条件として海氷に対する大気の応答について調べた。その結果、海氷が正偏差の時には図 1 (b) と同様のフェーズが卓越した。

4. 考察

以上の結果は次のように解釈できる。海氷の正偏差パターンは冬の前期の NAO の正偏差に伴う大気場によって形成され、さらにその海氷の正偏差パターンは NAO の正偏差パターンを減衰させることがデータ解析およびモデル解析で確認された。従ってこの結果は同一季節内において NAO と海氷との間で負のフィードバックが起こり NAO のフェーズシフトがもたらされている事を示している。このフェーズシフトの原因は海氷の正偏差パターンに伴う北アメリカ大陸の積雪の増加により北大西洋上のストームトラックが変化し、NAO に影響を与える事という事が示された。

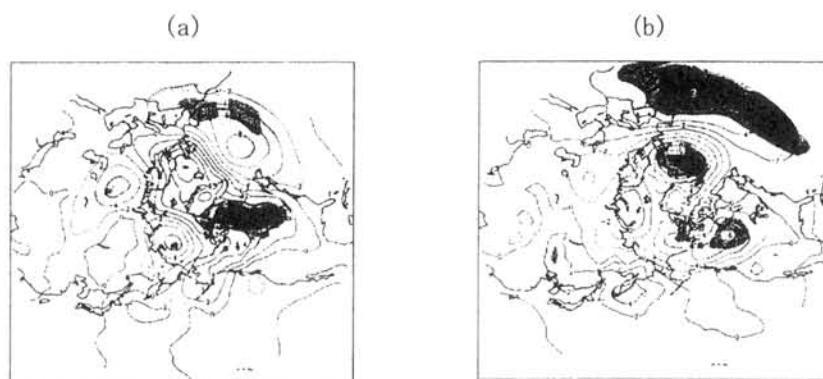


図 1 (a) 2 月の海氷 EOF1 時系列で 12 月から 1 月にかけての SLP の時間変動場を回帰した図 (b) 2 月の海氷 EOF1 時系列で 2 月から 3 月の SLP の時間変動場を回帰した図

Ⅶ. 6 冬季 AO/NAO と夏季の大気循環との関係 — 雪氷圏を通じた冬と夏のリンケージ —

小木雅世¹ * 立花義裕^{2,3} 山崎孝治^{1,2}

(1:北大地球環境 2:地球フロンティア国際北極研究センター, 3:東海大学)

Impact of the wintertime AO/NAO on the summertime atmospheric circulation and its linkage to the cryosphere

Masayo Ogi¹, Yoshihiro Tachibana^{2,3}, and Koji Yamazaki^{1,2}

1: Hokkaido Univ., 2:IARC/FRSGC 3: Tokai Univ.

Using the NCEP/NCAR reanalysis dataset and other observations, we show that the summer high-latitude climate in the Northern Hemisphere is influenced by the AO/NAO of the previous winter. We find this influence in the summertime surface air temperature, the geopotential height, the sea surface temperature (SST), sea-ice / continental snow cover extent fields as well as in the zonal mean geopotential height and zonal wind fields. This summertime AO/NAO signal is annular but its meridional scale is much smaller than the winter annular mode. Distinct summer anomalies are located at the nodal latitudes of the winter anomalies. We suggest that the sea-ice, SST and snow cover anomalies provide the memory allowing the winter AO/NAO to affect the summer climate.

はじめに

冬季北半球における卓越する変動である北極振動(AO)には、数十年の長周期変動があり、冬季のAOの現象と冬季の大気-海洋循環の関係については多くの研究結果が存在する。しかしながら、冬季のAOの変動と夏季の大気-海洋循環の関連性を明らかにした研究はほとんどない。AOが長周期変動をしているならば、冬季ばかりではなく夏季の大気-海洋変動と関係があってもおかしくはない。そこで、本研究の目的は、冬季のAOが夏季の大気-海洋変動と関係があるのかを調べることで、さらには、どのような過程を通じて関連するのかを検証することである。なお本研究の一部は Ogi et al. (2003) (GRL, vol.30, NO.13, 1704, doi: 10.1029/2003GL017280) に掲載されている。

データ

* 大気データ: NCEP 再解析データ (58-00年)

* SST、ICE データ: GISST2.3b (58-00年)

* 雪データ: NOAA-NESDIS (71-95年)

* AOindex: Thompson and Wallace (1998) (58

-00年)

なお、本研究では、冬季は12, 1, 2月平均値を、春季は2, 3, 4月を、夏季は5, 6, 7月平均値を使用した。

結果

図1は、冬季のNAOとそれに続く春から夏にかけての東西平均した500hPa高度との相関である。冬季にはAO/NAOパターンに対応する南北シーソーが存在する。春に南北シーソーはいったん弱まるが、夏季になると、再び大気場の南北シーソーとの相関が強まる。また、その南北のスケールが冬季のそれよりも北極側に縮小され、冬季の節に当たる部分が夏季の振幅最大の部分となる。図2は冬季のAOとそれに続く夏季の500hPaの相関・回帰図である。極に負、中緯度に正という変動が見られる。つまり、冬季のAOが正であれば、北極域で高度が下がり、中緯度で高度が上がる傾向にあることがわかる。特に中緯度の正偏差は顕著であり、オホーツク海北部については、夏季のみに現れるオホーツク海高気圧が冬季のAOと関係があることを示唆している。この現象は、他の高度

及び気温の変動も同様に、順圧的なパターンを示す。したがって、冬季の A0 は夏季の大気循環にも影響を及ぼすことがわかった。

大気循環が冬季から夏季にかけて持続することは考えにくく、A0 にも冬季と夏季には自己相関がないことから、大気以外の長期記憶をもつ過程によって冬季から夏季へ影響を及ぼしていると考えられる。そこで、冬季の A0 と春季から夏季にかけての海水、SST、雪の関係を調べてみた (図 3)。その結果、A0 が正であると、春季から夏季にかけて北極域の海水や中緯度の雪が少なくなることがわかった。この関係から、冬季の A0 の変動は、冬季の海水や雪に影響し、その変動が春季から夏季にかけて海水や雪に持続され、夏季の大気循環に影響を及ぼす可能性があることがわかった。

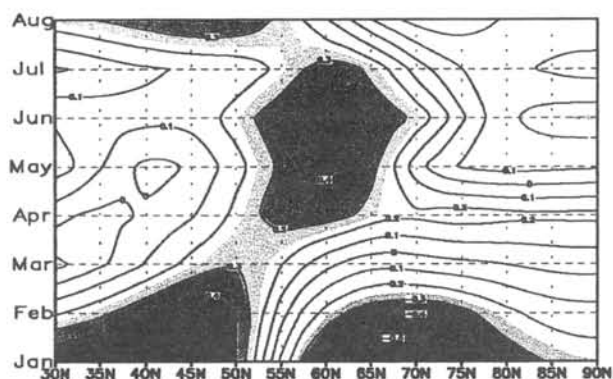


図1 冬季 NAO インデックスと zonal mean 500hPa 高度場とのラグ相関。横軸が緯度、縦軸が季節を表す。

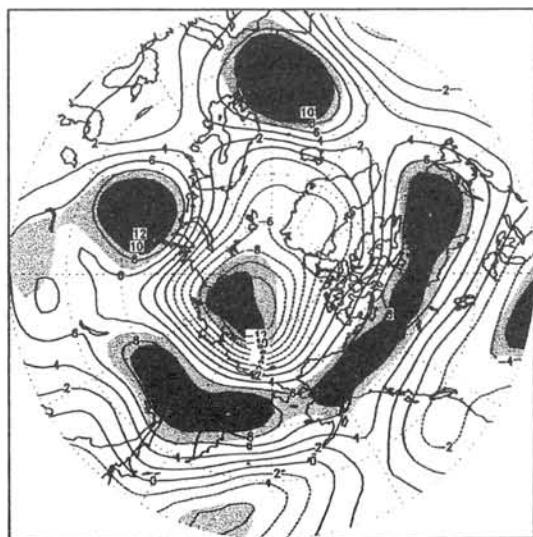


図2: 冬季 A0 と夏季の 500hPa 高度場との相関回帰図

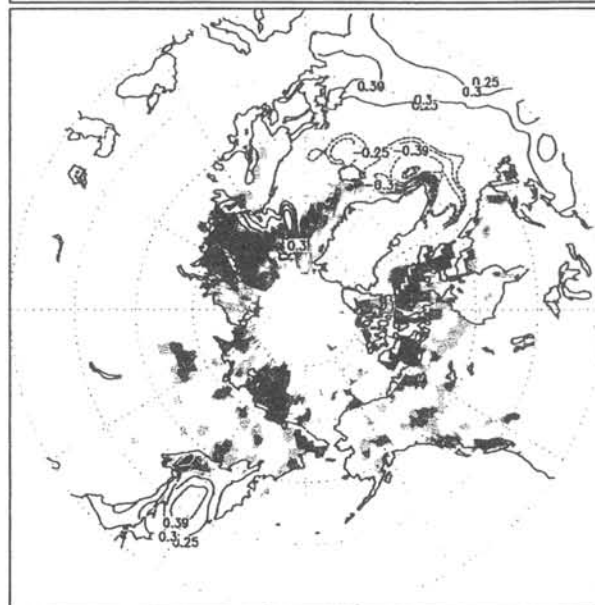
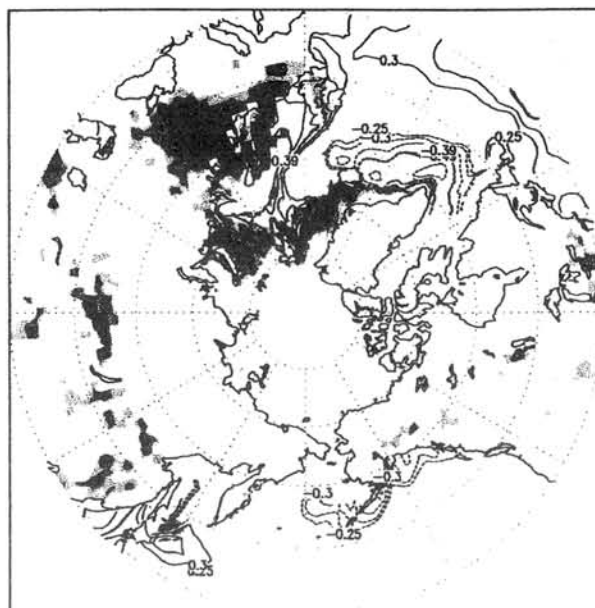


図4: 冬季 A0 と海氷・SST・雪の相関図 (春季 {上}、夏季 {下})。海水との負相関は海洋で影をつけた部分、雪との負相関は陸で影をつけた部分で統計的に有意。SST との相関は実線点線で示している。

夏季南極上空での OPC による成層圏エアロゾル観測と ILAS による 780nm 消散係数との比較

白石浩一、林政彦（福岡大学）、佐藤薫、平沢尚彦、山内恭（極地研）
渡辺征春（EORC,NASDA）、木津暢彦、江崎雄治（気象庁）

Comparison of observation of stratospheric aerosol by balloon-borne optical particle counter and the 780nm extinction of ILAS over Antarctic in summer

K. Shiraishi, M. Hayashi (Fukuoka Univ.), K. Sato, N. Hirasawa, T. Yamanouchi (NIPR)
M. Watanabe (EORC, NASDA), N. Kizu and Y. Esaki (Japan Metrological Agency)

The stratospheric aerosol measurements by balloon-borne optical particle counter were performed on February 24, 1997 at Syowa station by the 38th Japanese Antarctic Research Expedition and on February 22, 2002 at Dome Fuji by the 44th Japanese Antarctic Research Expedition. On February 24, 1997, a usual optical particle counter sonde (referred as OPC) with a diode laser as the source of light and measured particle concentrations in five particle size ranges ($r > 0.15, 0.25, 0.4, 0.6$, and $1.8 \mu\text{m}$ in radius) was launched. On February 22, 2003, two types of balloon born optical particle counter were launched. One of the instruments was OPC sonde and another was the one with He-Ne laser (referred as LPC) for the measurement of five size ranges ($r > 0.0056, 0.075, 0.1, 0.125$ and $0.15 \mu\text{m}$ in radius). Analyses of the observational data show that the significant decay of aerosol concentration in the size ranges larger than $0.4 \mu\text{m}$ below 20km height was found. Comparisons were made between the expected aerosol extinction, which were derived from size distributions observed at Syowa on February 24, 1997, and the stratospheric aerosol ILAS I data (780nm aerosol extinction). The height distribution of 780nm aerosol extinction by OPC are consistent with the ones of the ILAS I data below 20 km height. But above 20km, values of extinction by OPC are lower than ones of the ILAS I data.

はじめに

南極での成層圏エアロゾルの観測は、極成層圏雲が発達する冬季の観測は多く報告されているが、夏季の観測はほとんど報告されていない。本発表では、1997 年 2 月と 2003 年 2 月に第 38 次と第 44 次南極越冬隊により実施されたエアロゾルゾンデ観測の結果、および人工衛星 ADEOS I 搭載の LAS-I による観測に基づいて、南極夏季の成層圏エアロゾルの粒径分布や組成の解析をした結果について報告する。

観測

1997 年 2 月 24 日は、南極ドーム基地(77.3S, 39.7E)で、従来型の半導体レーザーを光源に利用し、可側粒径 5ch(半径 $r > 0.15, 0.25, 0.4, 0.6, 1.8 \mu\text{m}$)のエアロゾルゾンデ(以下 OPC)を用いて観測をおこなった。また、2003 年 2 月 22 日は、昭和基地(69.0S, 39.6E)で放球を行った。OPC に加え、He-Ne レーザを光源に利用したエアロゾルゾンデ(以下 LPC)の 2 種類のカウンターを使って観測を行った。LPC は、最小検出粒径 $0.056 \mu\text{m}$ 、可側粒径 5ch($r > 0.0056, 0.075, 0.1, 0.125, 0.15 \mu\text{m}$)であり、OPC よりもより小さ

い粒子を計測することが出来る。観測では、LPC の放球・受信終了後に、OPC の放球を行っている。2003 年 2 月 22 日の観測は、人工衛星 ADEOS-II 搭載の改良型大気周縁赤外分光計 II 型 (Improved Limb Atmospheric Spectrometer-II、以下 ILAS-II) の検証コア実験として行われ、ILAS-II によりエアロゾルゾンデ観測地点付近での各種成層圏大気化学成分やエアロゾルの消散係数(780nm)の測定も行われている。また、1997 年 2 月の観測時も人工衛星 ADEOS-I 搭載の ILAS-I により、観測地点付近での同様の観測が行われた。

解析と結果

1997 年 2 月 24 日に放球された OPC は、高度 29.4km まで到達した。また 2003 年 2 月 22 日に放球された OPC、LPC は、高度 37km、18.5km までそれぞれ到達している。

1997 年 2 月 22 日の OPC 観測結果について

- ・ 対流圏界面は、約 8 km に位置し、その高度から高度 29km にかけて成層圏エアロゾルが観測されている。各チャンネルの粒子数濃度のピークは、高度 10–11km くらいにあり、高度とともに緩やかに減少し、高度 29 km で急激に減少していた。
- ・ 対流圏界面から高度 20km くらいまでは、2 山の粒径分布をしていたのに対し、20km 以上の高度では、1 山の分布をしていた。これは、下層にまだ火山起源のエアロゾル層の影響が強く残っているためだと推測される。
- ・ ILAS-I により測定された波長 780nm での消散係数と得られた粒径分布から見積もった消散係数との比較は、高度 20km 以下では非常に良く合っていた。しかし、それより上方では、OPC の方が小さい見積りになっている。これは、高度の増加に伴って大きい粒子が減少し、導出する消散係数により小さい粒子(ここでは、OPC での可側粒径より小さい粒径を示す)の寄与が重要になってくることが一因にあるのではないかと考えられる。
- ・ ILAS による水蒸気測定から見積もられる硫酸エアロゾルの重量濃度は、高度 13-25km にかけて高度の増加とともに 74~80%に増加していた。

2003 年 2 月 22 日の OPC、LPC の観測結果について

- ・ OPC と LPC で得られた粒子数濃度は、高度 9 km から 31 km にかけて成層圏エアロゾルを観測している。粒径分布は、高度 15 km より下方では、2 山分布、上方では、1 山分布をしていた。
- ・ 1997 年の OPC との観測結果の比較は、下層 10-20km にかけては、粒径が $0.4\mu\text{m}$ より大きい粒子数濃度で顕著な減少が見られていた。
- ・ 1997 年の OPC 観測結果から見積もった 780nm エアロゾル消散係数と 2003 年 2 月 22 日の観測結果との比較は、20km より下層で、顕著な減少が見られている。これは、上記の粒径が $0.4\mu\text{m}$ より大きい粒子数濃度での顕著な減少が大きな原因ではないかと考えられる。

発表では、これらの解析の結果を近年の衛星観測やフィールド観測の結果と比較し、詳細を報告する予定である。

フィンランド・ソダンキラでの降雪粒子・エアロゾルの観測（その2）

佐藤昇（大阪府教育センター）・梶川正弘（秋田大・資源）・菊地勝弘（秋田県立大・生物資源）

Observation of snow particles and aerosols in Sodankylä, Finland (Part 2)

Sato N. (Sci. Educ. Inst. of Osaka Prefecture), Kajikawa M. (Akita Univ.), Kikuchi K. (Akita Prefectural Univ.)

Observations were carried out on snow particles and aerosols in Sodankylä, Finland during January 2003. It snowed at the rate once the second. The maximum snowfall intensity was 2.7mm/h during the observation. And Gohei twins, a typical low temperature type snow crystal was observed in low temperature conditions with snow crystals of combination of bullets.

はじめに

北極域での降水過程を調査する一環として、フィンランドのソダンキラ（北緯 67.37 度、東経 26.65 度）で昨年に引き続き 2003 年 1 月 7 日～28 日にかけて降雪粒子とエアロゾルの地上観測を行った。雪結晶の観測は顕微鏡写真と写真撮影および雪結晶レプリカでおこなった。降雪のサンプリングも行いその化学分析を行った。また、氷晶核の数濃度の時間変化を調べるためにエアロゾルを 1 日 2 回メンブランフィルターにサンプリングした。

観測結果

大気状態：現地ではルーチンの高層気象観測が行われている。そのデータを使った気温の時間－高度断面図を図 1 に示す。相対湿度 80%以上を雲層とみなし、その高度に陰影を施した。-15℃の等温線を注目してみると観測期間を通じて気温は高めであった。数日おきに上空からの気温の低下がみられた。

降雪期間：観測期間中の主な降雪期間とそのときの卓越結晶形を図 2 に示す。観測期間の後半に、砲弾集合とともに極域で顕著なゴヘイ型などの低温型雪結晶が観測された。15 分ごとの降雪から求めた降水強度は最大で 2.7mm/h であった。

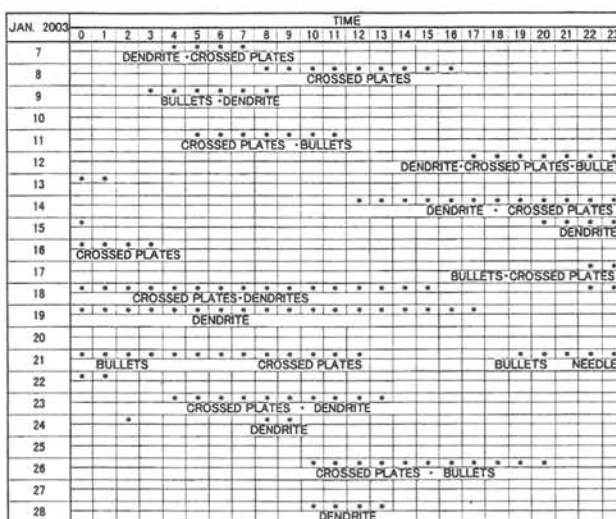


図 2

氷晶核数濃度：フィルター法にもとづく氷晶核数の測定を行った。3 時と 15 時の 1 日 2 回サンプリングを行った。氷晶核数の時系列を図 3 に示す。期間を通じて 2 オーダーの変動をしたが、降雪との明瞭な関係は見られなかった。

降雪の化学分析：降雪期間中に降雪を採集した。それらのイオン分析をすると多くの事例では硫酸イオンの方が硝酸イオンより卓越していた。

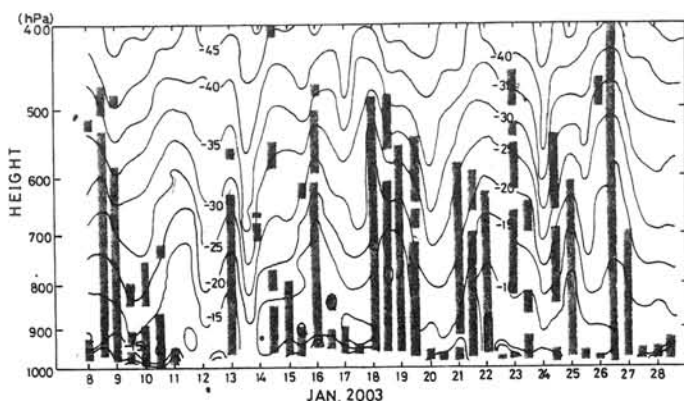


図 1

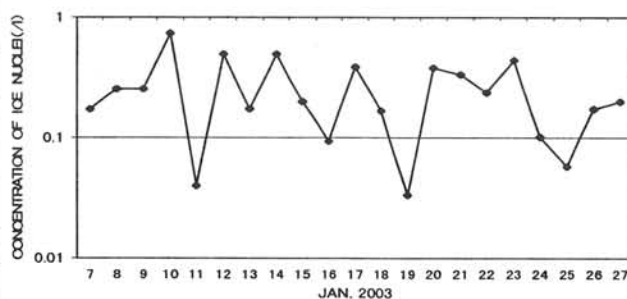


図 3

航空機によるエアロゾル観測 ～第42次南極地域観測隊の観測より～

小林拓 (山梨大学), 中嶋裕之 (久留米高専), 和田誠, 塩原匡貴 (国立極地研究所),
長田和雄 (名古屋大), 山内恭 (国立極地研究所)

Aerosol observations using an aircraft by the 42nd Japanese Antarctic Research Expedition

Hiroshi Kobayashi(Univ. of Yamanashi), Hiroyuki Nakashima(Kurume National College of Technology),
Makoto Wada, Masataka Shiobara(NIPR), Kazuo Osada(Nagoya Univ.), Takashi Yamanouchi(NIPR)

Antarctic aerosols, air temperature and dew point observations were carried out using aircraft around Syowa Station and between Syowa Station and Mizuho Station in JARE-42. Five flights around Syowa Station and five flights between Syowa Station and Mizuho Station were conducted with the Cessna A185F aircraft. The results shows seasonal variation of vertical profiles of aerosol number concentrations.

1. はじめに

第42次日本南極地域観測隊では, 航空機によるエアロゾル, 水蒸気量の観測を昭和基地周辺上空, ならびに昭和基地-みずほ基地間において実施した. 得られた結果の概要について報告する.

2. 観測

航空機はセスナA185Fを用いた. 搭載した観測機器は, オプティカルパーティクルカウンター (TD200, シグマテック, 9月からエアロゾルゾンデ改造, シグマテック), 温湿度計 (HMP235, Vaisala), 気圧計 (PTB210B, Vaisala), 露点温度計 (1011B, Buck Research) である. 外気は, 左翼支柱の上端部分に取り付けた取り入れ口から, 30mm φのシリコンタイゴンチューブを用いて機内に引き込んだ. 観測は, 昭和基地周辺上空と昭和基地-みずほ基地間でそれぞれ5フライト実施した. 観測高度は, 昭和上空では, 3000, 6000, 9000, 12000, 15000ft, 昭和-みずほ間では10000, 15000ftとした.

3. 結果

昭和基地周辺上空での5/13, 9/14, 12/8の観測結果をFig. 1に示す. 5/13は, 上空にいくほどエアロゾルの個数濃度が減少していた. また, 逆転層が地表付近, 900hPa付近, 680hPa付近に存在していた. 9/14は, 地上から700hPa付近までエアロゾルの個数濃度が減少していたが, より高い高度では, 逆に増加していた. 水蒸気量を示す露点温度も700hPa付近より高い高度で増加していた. 12/8は, 5/13, 9/14と比較すると高度による変化が少なかった. また, 0.3-0.5 μ mの個数濃度だけは, 700hPa付近より高い高度で増加していた. ここに示した観測結果は, それぞれ, 南極の初冬, 初春, 初夏に相当し, 季節による変化を示している可能性がある.

4. 謝辞

観測にあたり, 多大な協力を頂きました第42

次日本南極地域観測隊の航空隊員である溝部和宏, 代田幾也両操縦士, ならびに蒔谷靖征整備士に謝意を表します. なお, 本観測は, 南極観測事業気水圏系第V期5カ年計画「極域大気-雪氷-海洋圏における環境変動機構に関する研究」の一環として実施された.

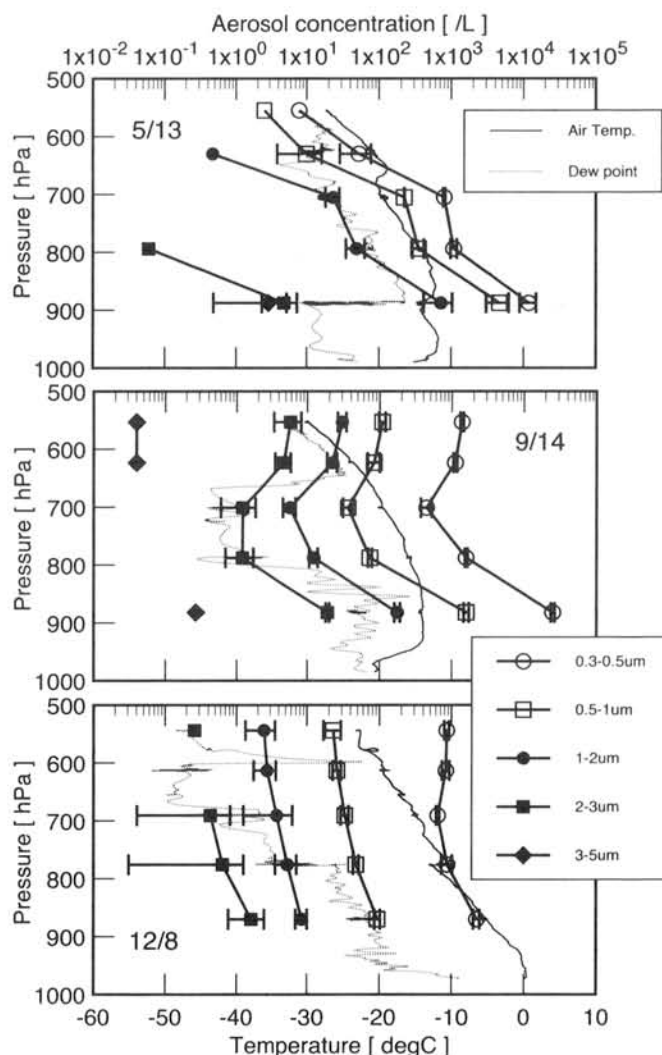


Fig.1 Vertical profiles of aerosol concentration, air temperature and dew point over Syowa Station.

PII . 4 ドームふじの地表面近傍のエアロゾル粒径分布—sub-visible fog?—

林 政彦 (福岡大理)、平沢尚彦、山内 恭 (極地研)

Aerosol size distribution and Sub-Visible Fog observed near the surface of Dome-Fuji

M. HAYASHI (Fukuoka Univ.), N. HIRASAWA, T. Yamanouchi (NIPR)

Particle concentrations near the ice sheet, from 0.1 to 7 m above surface, were observed at Dome Fuji (78°S, 40°E, 3810m a.s.l.) from July to November in 1997. Concentration of aerosol is much higher than those observed in laboratory, under the condition warmed up. The layers characterized by high concentration of giant particle, larger than 3.6 μm in diameter, were sometimes observed. It looks like one kind of fog, which cannot be identified by eye observation because of low concentration of condensed water. They may have important roles on water budget and chemical reaction process over Antarctic ice sheet.

1. はじめに

東南極高原のドームのひとつに建設されたドームふじ観測拠点では、南極域物質循環観測計画の一環としてエアロゾルの連続的な観測が行われている。特に38次南極地域観測隊では、エアロゾルの集中観測が行われた。集中観測においては、基地内に吸引した大気を種々の観測装置に分配する方式を主として粒径分布観測、組成分析等をおこなった。同時に、室内に吸引された空気は加熱されており、大気中の状態とは大きく変化している。そこで、越冬期間中に、光散乱式粒子係数装置 (OPC) を用いて、地表面近傍のエアロゾルの粒径分布を極力そのままの状態で計測することを試みた。

2. 観測

地表面近傍の 0.1~7m の領域の粒子濃度の観測を行った。観測に用いたのは、気球観測用のエアロゾルゾンデ (光散乱式粒子係数装置) であり、直径 0.3, 0.5, 0.8, 1.2, 3.6 μm (屈折率 $m=1.40+0i$ の球相等径) 以上の粒子濃度を計測できる。

ドームふじ観測拠点に設置されている測風タワーにエアロゾルゾンデを吊るし、人力で引き上げる方法をとった。1m 間隔、8 高度で、それぞれ 2 分間 (吸引大気量約 6 liter) 静止して計測を行った。計測データはテレメトリーにて基地内受信器に送信される。

観測は、冬季にあたる 7 月末から 11 月末までの間に 9 回実施した。

3. 結果

厳寒期には、0.3 ミクロンのエアロゾル濃度は室内計測より数倍高いことがあった。これは、低温化によりエアロゾルが大気中の水蒸気を凝結させ成長していたことを示すものである。また、3.6 ミクロン以上の粒子数濃度が高い (0.1 個/ cm^3 以上) 状態がたびたび観測された。この高濃度層における粒径分布は、既存の大粒子のほとんどが巨大粒子へと成長している場合もあった。本観測では 3.6 μm 以上の粒子の粒子径については正確にわからない。同時に実施していた屋外に設置したエアロゾルサンプラー (ハイボリュームサンプラー) のフィルター面には緻密な氷結晶が厚く蓄積することが度々見られており、ドーム付近の地表面近傍には、このような小さい霧粒のような粒子がほぼ定常的に浮遊している可能性がある。

この霧は、大気-雪氷間の水交換の重要なプロセスとなっている可能性がある。また、大気中の微量成分の表面反応の場となっている可能性もある。

当日は、水蒸気と粒子態の水の分配などについて検討すると共に、巨大粒子などの形成プロセス等について検討する。

謝辞：本研究は第 38 次南極地域観測隊の援助により実現したものです。隊員諸氏、特にドームふじ越冬隊および関係者の皆様に感謝の意を表します。

柴田隆、岩坂泰信（名大環境）、白石浩一、林政彦、藤原玄夫（福大理）

The observation plan of the stratospheric aerosols at Ny-Ålesund in the winter 2003/2004
by Nagoya and Fukuoka Universities

T. Shibata, Y. Iwasaka (Nagoya Univ.) , K. Shiraishi, M. Hayashi, and M. Fujiwara (Fukuoka Univ.)

The observations of stratospheric aerosols are planned to be conducted at Ny-Ålesund in the winter of 2003/2004 by the joint group of Nagoya University and Fukuoka University. Ground based lidar, and balloon borne optical particle counters (OPC) are used for the observations. The main purpose of the observations is to obtain the properties of polar stratospheric clouds (PSC) when solid particles are formed. The arctic ozone is now thought to be destructed in the surface reactions on the solid PSC particles. However, the formation mechanism of the solid particles is not known well. The solid PSC particles are observed by lidar very well. The size distribution of the particles is observed by OPCs from sub micron to several micron size ranges. These data by lidar and OPCs will be useful for the understanding the unknown formation mechanism of the PSC particles.

名古屋大学と福岡大学の共同観測グループはスバールバルの極地研究所ニーオルスン基地にライダーを設置し、1994 年 1 月から極成層圏雲（polar stratospheric clouds; PSC）の観測を、過去 10 冬、続けてきた。ライダー観測と同時に、ドイツ、アルフレッドウェゲナー研究所と協力して気球搭載 optical particle counter (OPC) も各冬に放球し、PSC の粒径分布に関する情報も得た。これまでの観測から、北極 PSC は主として液体粒子からなり、多くの場合、固体粒子の個数濃度は全 PSC 粒子中 0.1% 程度以下であることを明らかにした^{1),2),3),4),5)}。

南極オゾンホールの子の年々の発達に対応して北極オゾンの減少が報告されている。北極のオゾン破壊の反応プロセスは南極と同様に、PSC 粒子による窒素化合物の除去（脱窒）と、それに引き続き、PSC 粒子表面の不均一反応によって活性化された塩素酸化物（ClO_x）の触媒反応、でオゾンが破壊されると考えられている。ClO_x は窒素化合物で不活性化されるため、脱窒はオゾン破壊が生じる際には必須の過程である。PSC 粒子による脱窒と考えられる窒素酸化物の減少が北極上空で直接観測されている^{6),7)}。

PSC 粒子による脱窒は、PSC 粒子が窒素化合物を取り込んで成長し、成層圏から窒素化合物を重力落下で取り去る、という過程である。このため PSC 粒子は脱窒に十分な落下速度を持つくらいの大きさに成長しなければならない。

北極で観測された PSC に関しては以下のようなことが明らかになっている：液体粒子は通常成層圏の存在する硫酸エアロゾルが温度の低下に伴い、水と硝酸を取り込んで成長したものであ

る。北極冬季成層圏の温度条件では、ほとんどの場合この硫酸、水、硝酸の3成分系の液滴粒子が主要なPSC粒子である。液体粒子は成分として硝酸を含むが、粒径は $1\mu\text{m}$ 以下にとどまり、落下速度は小さい。このため脱室を起こすことが困難である。一方、固定粒子は速やかに数ミクロン以上に成長するため十分大きな落下速度を持つ。しかしながら、個数密度が極めて小さいため、固体粒子全体として窒素化合物を成層圏から落とす程度は、観測された粒径・個数で、脱室を十分に説明できないと考えられている。加えて、北極上空の温度条件下での固体粒子の生成過程も十分に理解されていない。しかし、脱室に関しては、十分大きな粒子の落下速度は、成長速度の大きい固体粒子以外では考えにくく、固体粒子の脱室への関与を説明するために、航空機観測で発見された巨大固体PSC粒子が脱室の原因になっている、という仮説などが考えられている⁸⁾。

このように北極のオゾン破壊に関して、固体PSC粒子の存在とその働きはある種のパラドックスになっている。したがって、どのような状況下で固体粒子が生成し脱室を生じさせているかを明らかにすることが、北極オゾン破壊の理解に不可欠と考えられる。

この冬の観測ではライダーのデータ処理能力を上げて、より詳細な時間分解能のデータが得られるように改良する。また、OPCに関しても、従来のものに比べてより小さい粒径粒径を測定できるように改良されたもの（改良型OPC）と、より大きい粒径を測定できるように設計されたもの（通称LPC, Laser Particle Counter）を用いる。観測によって得られたデータと、気象データ、及びPSCの微物理モデルを用いて、固体PSC粒子の生成過程の解明をめざす。

参考文献

- 1) Shibata, T., et al., Journal of Geophysical Research, Vol. 102, 10829-10840, 1997.
- 2) Shibata, T., et al., Journal of Geophysical Research, Vol. 104, 21603-21611, 1999.
- 3) Shibata, T., Journal of Geophysical Research, Vol. 104, 21613-21619, 1999.
- 4) Daneva, D., et al., Journal of Meteorological Society of Japan, Vol. 81, 747-757, 2003.
- 5) Daneva, D., and T. Shibata., Journal of Meteorological Society of Japan, Vol. 81, 759-777, 2003.
- 6) Sugita, T., et al., Journal of Geophysical Research, Vol. 103, 16221-16233, 1998.
- 7) Waibel, A. E., et al., Science, Vol. 283, 2064-2069, 1999.
- 8) Fahey, D. W., et al., Science, Vol. 291, 1026-1031, 2001.

昭和基地のショート反転観測による解析オゾン鉛直分布

宮川幸治 (高層気象台)

Analysis of Ozone Vertical Profile by Short Umkehr Observation with

Dobson Ozone Spectrophotometer at Syowa Station

Koji Miyagawa (Aerological Observatory)

Abstract. Dobson Umkehr observation for calculating the vertical atmospheric ozone profile is performed by the long method in which the N-values of C wavelength pair are successively measured at fourteen prescribed solar zenith angles from 60 to 90 degrees under zenith clear sky condition. This standard method, however, cannot be used at high latitude in the seasons when these solar zenith angles are not realized. In such cases, so-called short method might be the substitute for the long method, which entails the measurements of the N-values of A, C, and D wavelength pairs at seven solar zenith angles from 80 to 89 degrees. At Syowa station, as one of the key Dobson stations in Antarctica, the short method has been carried out since 1987 along with the long method to compensate the lack of long Umkehr data in specific seasons. Though many short Umkehr data sets are accumulated at Syowa, they have not been analyzed until now because well established processing algorithm for short Umkehr is not presented yet. In this research, a statistical analysis on the estimating method of atmospheric ozone profile from short Umkehr data was examined by utilizing existing processing algorithm for long Umkehr data. It was shown that the ozone profile by both of the long and short methods agreed in general with the standard deviation of 1 % (min) in the layer 10 and 9 % (max) in the layer 7. In the layer 4 (62.5~31.2hPa), where the maximum ozone concentration exists, the agreement was 2.7 % in standard deviation.

大気オゾンの鉛直分布を求めるためのオゾン反転観測は、通常C波長組を用いたLong反転法(太陽天頂角 60~90 度)によって行われる。しかし、極域のように太陽高度角が低くなる地域では季節により、A, C, D 各波長組についての連続測定による Short 反転法(太陽天頂角 80~89 度)が必要となる。昭和基地においては、この Short 反転観測が単独あるいは Long 反転法と平行して 1987 年以降継続されており、両観測法の貴重な比較データベースが蓄積されている。しかし、Short 反転法による観測を解析できるプログラムが公表されていないことから、昭和基地における Short 反転観測データからオゾン鉛直分布を導出することはこれまで行われてこなかった。

このため今回は一つの解析実験として、現在 Long 反転法の解析に用いられている Mateer and DeLuise (1992) のアルゴリズム Version 4 の解析プログラムを利用し解析を試みた。この解析プログラムを利用するためには、Short 反転観測で測定できない 7 点の太陽天頂角 60, 65, 70, 74, 75, 77, 90° の N 値を必要とする。今回の解析では C 波長組のみを用い、過去の長期間のデータベースをもとにした経験式を求め N 値を推定する手法を用いた。N 値を推定するためには、測定データのそれぞれの太陽天頂角の N 値とオゾン全量値をもとにした関係式および、オゾン全量値と季節変化を考慮した関係式を導いた。Long 反転法の観測値 294 例を用いて推定された N 値と Long 反転法の観測値について、それぞれオゾン鉛直分布の計算を行った。その結果、両者の差の標準偏差は、第 10 層で 1 % (最小)、第 7 層で 9 % (最大)、またオゾン量のピーク層に相当する第 4 層で 2.7 % となり、概ねよく一致する結果が得られた。

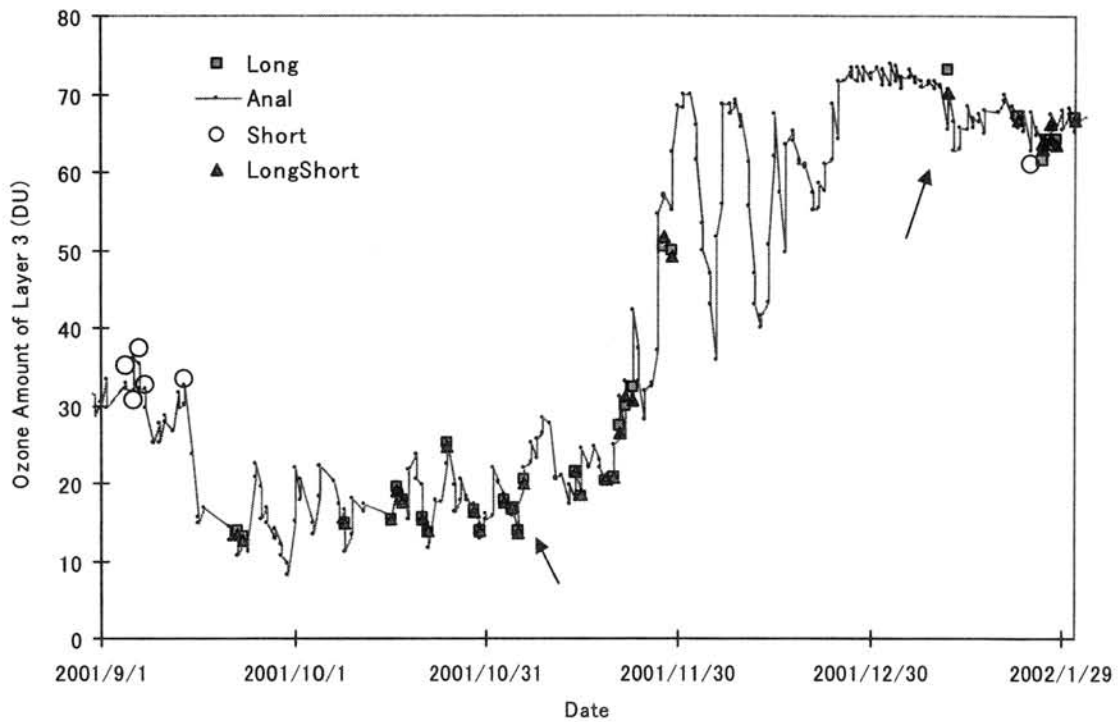


Figure 1 Time series of ozone amount in the layer 3 by various methods. Square: ordinary long observation, dotted solid line: estimate, circle: short observation plus estimate, triangle: short points from long observation plus estimate. The arrow shows the ozone vertical profile of the figure 2.

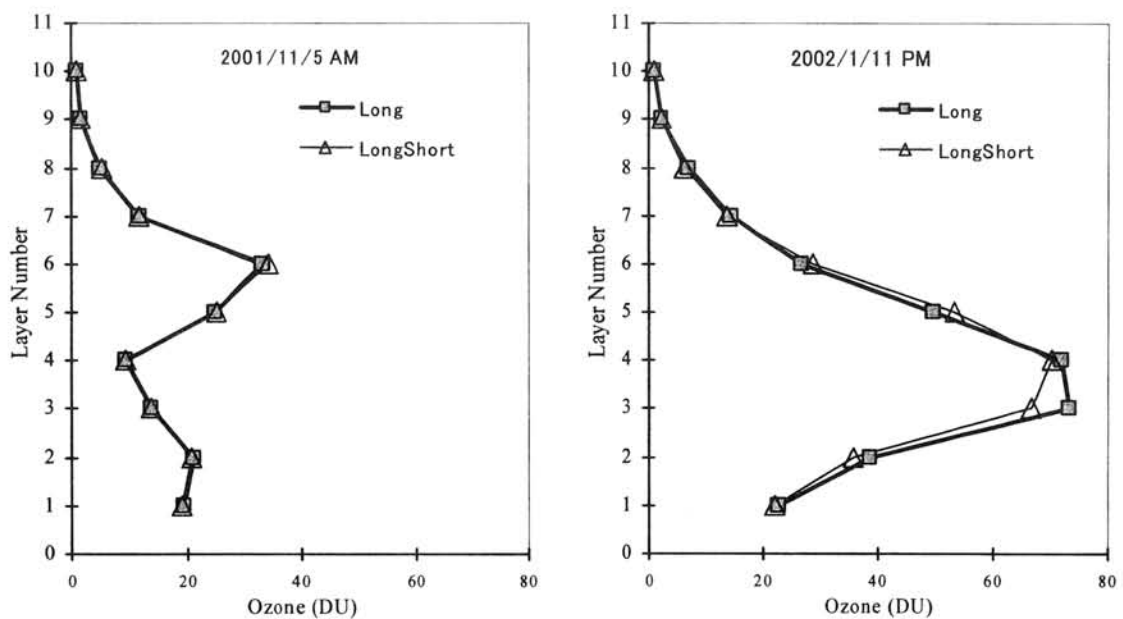


Figure 2 The ozone vertical profile shows an example on November 5, 2001 and January 11, 2002.

ECG オゾンゾンデで観測されたカナダ・ユーレカ基地上空における成層圏オゾンの減少について
Stratospheric Ozone Loss over Canadian Arctic Eureka observed with ECG ozonesondes

廣田道夫¹、宮川幸治²、永田和彦³、柴田清孝¹、永井智広¹、藤本敏文³、牧野行雄³、内野修⁴、H. FAST⁵
¹気象研, ²高層気象台, ³気象庁観測部, ⁴広島地方気象台, ⁵カナダ大気環境局

M. HIROTA¹, K. MIYAGAWA², K. NAGATA³, K. SHIBATA¹, T. NAGAI¹, T. FUJIMOTO³,
Y. MAKINO³, O. UCHINO⁴, and H. FAST⁵

¹Meteorological Research Institute, ²Aerological Observatory,

³Observations Department, Japan Meteorological Agency, ⁴Hiroshima Local Meteorological Observatory,

⁵Atmospheric Environment Service, Canada

Abstract: In winters from 1992/93 to 2001/02, many ECG type ozonesondes were launched at the Canadian Arctic Eureka observatory (80° N, 86° W), one of the most northern stations in the Arctic, and the temporal evolution of the vertical ozone profiles was obtained in detail. During the winter, monthly average total ozone and temperature at 50 hPa, both observed with the ECG ozonesondes, were substantially lower than normal over Eureka in 1994/95, 1995/96, 1996/97 and 1999/2000. In these winters, Eureka was often inside the polar vortex in the lower stratosphere (475 K isentropic surface level). When Eureka was inside the polar vortex, very low temperatures were observed in the lower stratosphere, in accordance with the detection of Polar Stratospheric Clouds (PSCs) by Mie lidar. Under these conditions, large decreases of the intravortex ozone mixing ratio in the lower stratosphere were observed, following the diabatic descent. The ozone loss rate inside the vortex was estimated for each year.

はじめに 1993 年 2 月から 2002 年 3 月までの冬季に、カナダ北極圏ユーレカ基地 (80° N, 86° W) において、ライダーによる PSCs の観測と共にオゾンゾンデ観測を実施した。この 10 年間の観測において PSCs が観測されたのは、94/95 年、95/96 年、96/97 年、99/00 年の 4 回であったが、その時、ユーレカ上空の下部成層圏は、ほぼ極渦内にあり、かつ極渦内の下部成層圏の気温が極めて低かった。そしてオゾン全量は 10 年間の平均値を大きく下回った。今回はオゾンの減少の大きかったこれらの年について、オゾンゾンデ観測の解析結果を報告する。

観測 観測には、ECG 型オゾンゾンデを使用し、毎冬、月平均約 7 回の観測を行った。

結果 99/00 年については、極渦内下部成層圏の気塊中のオゾン混合比は、非断熱冷却による降下を考慮して、2 月 4 日 (温位 497K) から 3 月 29 日 (温位 475K) にかけて、3.1ppmv から 0.9ppmv まで、2.2ppmv 減少しており、同期間のオゾン減少率としては、 $0.041 \pm 0.008 \text{ ppmv/day}$ (90%信頼区間) となった (Hirota et al. 2003)。

99/00 年以外の年については、96/97 年は、1 月下旬から 3 月末までユーレカ上空の下部成層圏は、極渦内にあった。95/96 年は、3 月初めを除いて 1 月から 3 月中旬まで、極渦内にあった。94/95 年は、1 月半ばから 2 月中旬まで、極渦から外れていた。

95/96 年を例として見ると、12 月中旬と 1 月前半に PSCs が観測され、下部成層圏のオゾン混合比は、3 月初めの 2 回の観測を除き、1 月下旬から 3 月中旬まで減少傾向を示した。1 月 20 日 (温位 495K) から 3 月 16 日 (温位 470K) にかけて、3.2ppmv から 1.4ppmv まで、1.8ppmv 減少しており、この期間のオゾンの減少率としては、 $0.032 \pm 0.017 \text{ ppmv/day}$ (90%信頼区間) となった。この値は 99/00 年のより小さい。Rex et al. (1997) は、Match technique を用いて、1 月 20 日から 4 月 9 日 (温位 ~ 470K) にかけて、 $2.4 \pm 0.3 \text{ ppmv}$ の減少を報告している。

2001年2月14日にヨーロッパ上空に出現したミニオゾンホールについて

忠鉢 繁 (気象研究所)、宮川 幸治 (高層気象台)、牧野 行雄 (気象庁)

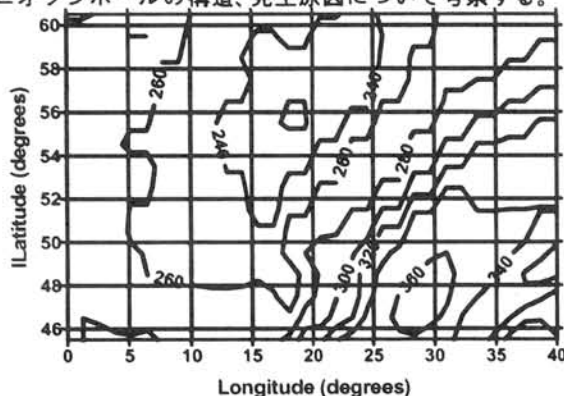
On the mini Ozone hole over Europe on 14th February 2001

Shigeru Chubachi (Meteorological Research Institute), Koji Miyagawa (Aerological Observatory) and Yukio Makino (Japan Meteorological Agency)

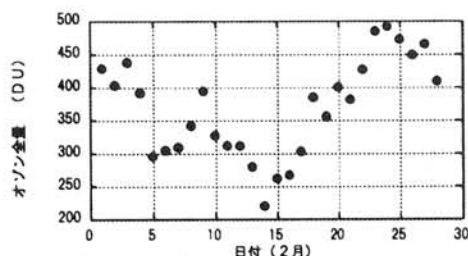
Abstract: TOMS data shows that mini ozone hole appeared over Europe on 14th February 2001. The data analysis by using ozonesonde data and meteorological data was carried out to know why the decrease of total ozone amount occurred over Europe. Several characteristics obtained by the analysis are shown in this paper.

1. はじめに

2001年2月14日にヨーロッパのバルト海上空にミニオゾンホールが出現した(第1図)。TOMSによるオゾン全量の最低値は219DUであり、その中心は56°N、119°E付近である。この地域のオゾン全量は2月13日から16日まで300DU以下の値を示しており、2月14日に最低値を示した(第2図)。このミニオゾンホールの発生に伴い、ヨーロッパ上空に700K、450K等温位面上の極渦が移動し、その後19日から20日頃日本上空に移動した(Chubachi et al., 2003)。本論文では、2001年2月14日にヨーロッパ上空に出現したミニオゾンホールの構造、発生原因について考察する。



第1図 2月14日のオゾン全量分布



第2図 2001年2月の56°N, 19°Eのオゾン全量

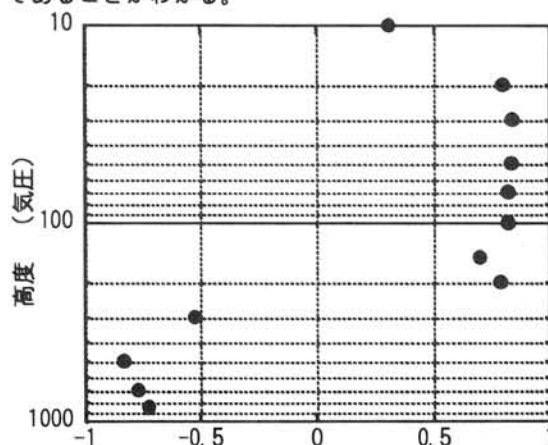
2. 解析に用いたデータ

本論文で解析に用いたデータはTOMSデータ(オゾン全量)及び2001年2月中に観測されたHOHENPEISS

ENBERG(ドイツ、47.8°N, 11.0°E)、PAYERNE(スイス、46.8°N, 7.0°E)、PRAHA(チェコ、50°N, 14.7°E)、LINDENBERG(ドイツ、52.2°N, 14.1°E)、LEGIONOWO(ポーランド、52.4°N, 21.0°E)のオゾンゾンデデータ(オゾン垂直分布)である。

3. オゾン全量と指定気圧面との相関

第3図にヨーロッパ地域の2月の各指定等圧面上の気温とオゾン全量の相関係数を示す。この表から対流圏気温とヨーロッパ地域のオゾン全量とは負の相関が、成層圏気温とオゾン全量とは正の相関があることが示される。30hPa等圧面で相関係数が最も大きく、0.84に達する。第4図に30hPa等圧面気温とオゾン全量の関係を示す。この図から290DU以下のオゾン全量に対応して30hPa気温が-70℃以下であることがわかる。



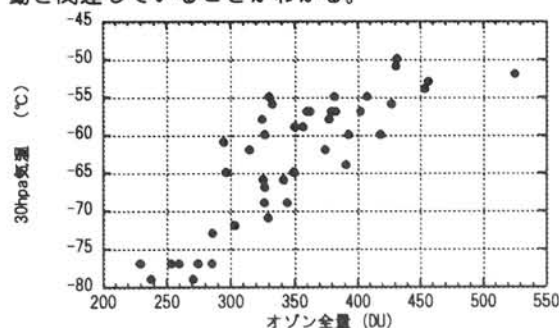
各高度の気温とオゾン全量の相関係数

第3図 2001年2月の気温とオゾン全量の相関係数

4. 等温位面高度の気圧とオゾン全量の関係

前項のオゾン全量と指定気圧面の関係は、オゾン全量と等温位面高度の気圧の関数に置き換えることができる。オゾン全量は300K等温位面高度の気圧と強い負の相関があり、330Kより大きな等温位面高度の気圧とは強い正の相関がある。650K等温位面高度の気圧とオゾン全量の相関係数は0.86に達しており、この時期のヨーロッパ上空のオゾン全量の変動はこれらの等温位面高度の気圧の変

動と関連していることがわかる。



第4図 オゾン全量と30hPa気温の関係

5. 等温位面上の渦位とオゾン全量の関係。

オゾン全量と500°K以上の等温位面上の渦位は強い負の相関（相関係数の絶対値0.6以上、最大650Kで0.71、符号は負）を示す。オゾン全量と650K等温位面上の渦位の関係を図6に示す。290 DU以下のオゾン全量にしては120（10-6K・m²・s⁻¹・kg⁻¹）以上の渦位が対応しており、ミニオゾンホール内部の成層圏は高緯度起源（高渦位）の成層圏大気に覆われていたことがわかる。

6. オゾン全量と等温位面上のオゾン混合比の関係

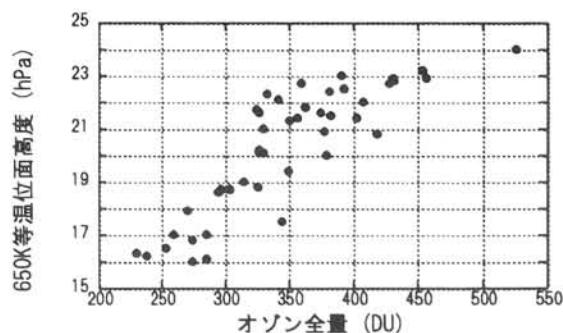
オゾン全量と600K、650K、700K等温位面上のオゾン混合比は正の相関を示している。第7図にオゾン全量と600K等温位面上のオゾン混合比との関係（相関係数0.72）を示す。300 DU以下のオゾン全量に対して、5.5 ppmv以下のオゾン混合比が、250 DU以下のオゾン全量に対して4.5 ppmv以下のオゾン混合比が対応している。

7. まとめ

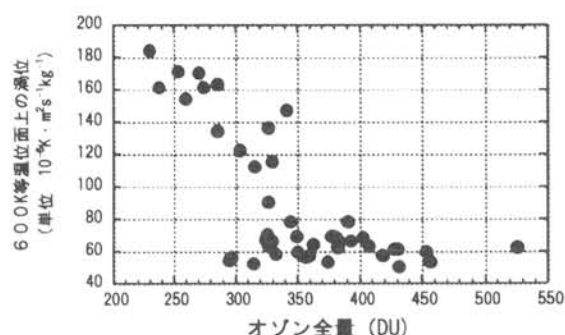
2001年2月14日にヨーロッパ上空にミニオゾンホールが出現した。2001年2月のヨーロッパのオゾン全量と各高度の気温は対流圏で負の相関を、成層圏で正の相関を示しており、オゾン全量の小さなミニオゾンホールは、温暖な対流圏、寒冷な成層圏に対応している。ヨーロッパ上空のオゾン全量は成層圏の等温位面高度（気圧）と強い負の相関を示しており、2月14日のミニオゾンホールは成層圏の等温位面上の上昇により形成されたと考えられる。

さらに、オゾン全量は、400K以上の等温位面上の渦位と強い相関を示しており、2001年2月のオゾンミニホールの小さなオゾン全量に対応してヨーロッパ上空は渦位の大きな高緯度起源の空気に覆われていた。また、600K等温位面上のオゾン全量とオゾン混合比の間には正の相関があり、ミニオゾンホールに対応して、600K等温位面付近はオゾン混合比の小さな空気に覆われていたことを示し

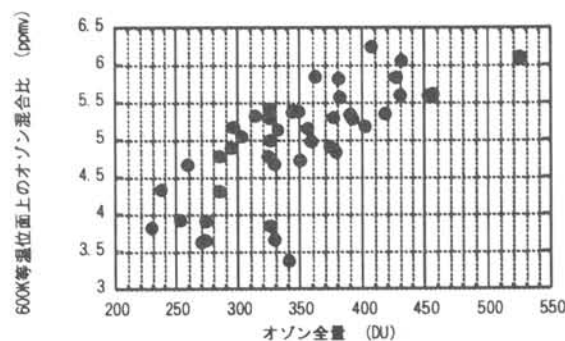
ている。



第5図 オゾン全量と650K等温位面高度の気圧の関係



第6図 オゾン全量と650K等温位面上の渦位の関係



第7図 オゾン全量と600K等温位面上のオゾン混合比の関係

参考文献

Chubachi et al, Detection of air within the northern hemisphere polar vortex at wakkanai and at Tsukuba, Japan, Polar Meteorology and Glaciology, 17, in press, 2003.

PII . 9 日本ドイツ共同南極大気航空機観測計画

山内 恭、和田 誠（国立極地研究所）A. Herber（ドイツ極地研）

Japan-German Cooperative Airborne Atmospheric Observation Project in the Antarctic (ANTSYO)

Takashi Yamanouchi, Makoto Wada (NIPR) and Andreas Herber (AWI)

Airborne Atmospheric Observation Project in the Antarctic has been planned to be conducted in 2005/06 and 06/07 seasons by JARE 47 and 48, respectively, under the cooperation with Alfred-Wegener institute for Polar and Marine Research (AWI). AWI Polar 4 (Dornier 228; with Polar 2 for geophysics) is to be used, instrumented at Neumayer Station, ferried to Syowa area and operated based at S17 point on the continental ice sheet. Vertical and horizontal distributions of aerosols and greenhouse gases in summer Antarctic troposphere are to be clarified.

はじめに：南極域第 47 次観測隊（2005/06 年）、48 次観測隊（2006/07 年）夏期の 2 シーズンにわたって、ドイツのアルフレッド・ウエーゲナー極地海洋研究所（AWI）と共同で AWI のドルニエ機 2 機により、地学・大気それぞれの観測を行う計画である。大気観測では、地球上で最も汚染の少ない南極大気中のエアロゾルと温室効果気体の鉛直・水平分布を測定するものである。

計画の経緯：大気グループではこれまで北極域で AWI と共同の航空機観測を実施してきた。2000 年春の北極域対流圏エアロゾル・放射総合観測（ASTAR 2000）では AWI の Polar 4 により、2002 年には北極海横断航空機大気観測（AAMP 02）として G-II 機により北極海上空やスバルバル域でエアロゾルや温室効果気体等の観測を行い（AAMP 98 の継続として）、さらに 2004 年にも ASTAR 04 を計画中である。一方、南極域ではこれまでセスナおよびピラタス機を使って長年にわたって大気観測の実績を重ねてきたが、小型機であるために搭載機器および飛行範囲に限りがあった。これらを踏まえ、さらに対比の意味を含め南極域の観測を目指した。時を同じくして地学グループで昭和基地周辺でのドイツとの共同航空機観測（重力、地磁気、アイスレーダ観測）が企画され、航空機は 2 機同時運行が原則であることから、同時に両計画を実施することとなった。さらに、将来の観測用中型航空機導入への一歩とも位置付けている。

観測目的：対流圏エアロゾルの特性と鉛直・水平分布、海洋起源物質の役割、雪氷圏との相互作用、さらに温室効果気体の鉛直・水平分布の把握を目

的とする。これらにより、夏期に限られるが、エアロゾルの動態、起源、輸送過程の解明、氷床コアへの取り込みの解釈、雲との関りの推定、そして温室効果気体の輸送過程の解明を図る。

観測項目：エアロゾルと温室効果気体を測定対象とし、下記の項目をあげる：

- ・エアロゾル粒径別個数濃度（OPC：極地研他、CPC, DMPS：ストックホルム大 ITM、FSSP 他プローブ、CPSA：DLR-IPA）
- ・エアロゾル散乱係数（IN：極地研）
- ・エアロゾル組成（インパクター、フィルター：極地研）
- ・エアロゾル光学的厚（サンフォトメータ：AWI）
- ・CO₂ 濃度測定（アナライザー：極地研）
- ・大気採取（フラスコ：極地研）
- ・その他基本的気象要素（水蒸気＝CR 2 含む）

観測概要：2 機の航空機は本国からノイマイヤー基地に回航され、機器を搭載の上、昭和基地周辺に飛来、大陸上の S 1 7 地点（標高 600m）を航空拠点として運行する。Polar 2 を地学観測に、Polar 4 を大気観測に使用する（いずれもドルニエ 228 型機）。S 1 7 から、大陸内陸ルート上、海水・海洋上、約 500 km の範囲内で水平飛行および随所で 2500 ft までの鉛直プロファイル飛行を行う。同時に行う昭和基地地上観測との対比も課題としている。観測期間は 12 月中旬から 1 月末までの 40 日間、約 60 飛行時間を予定している。航空機観測現場参加者としては地学観測を併せ、パイロット・整備士はじめ地上サポート含めドイツ側（スウェーデン含）14 名、日本側 5 - 6 名、計 20 名程度を予定している。

アルタイ山脈ベルーハ氷河における過酸化水素と OH ラジカルの測定

三宅隆之¹、中谷暢丈²、牧野慎也²、新垣雄光³、佐久川弘²、中澤文男⁴、大田啓一⁵、
竹内望¹、藤田耕史⁶、中尾正義¹

1: 総合地球環境学研究所、2: 広島大学大学院生物圏科学研究科、3: 琉球大学理学部、
4: 名古屋大学院理学研究科、5: 滋賀県立大学環境科学部、6: 名古屋大学院環境学研究科

Measurements of Hydrogen Peroxide and OH radical in Belukha Glacier, Russian Altai Mountains

Takayuki Miyake¹, Nobutake Nakatani², Shinya Makino², Takemitsu Arakaki³, Hiroshi Sakugawa²,
Fumio Nakazawa⁴, Keiichi Ohta⁵, Nozomu Takeuchi¹, Koji Fujita⁶ and Masayoshi Nakawo¹

1: Research Institute for Humanity and Nature, 2: Graduate School of Biosphere Sciences, Hiroshima University, 3: Faculty of Science, University of the Ryukyus, 4: Graduate School of Science, Nagoya University, 5: School of Environmental Science, The University of Shiga Prefecture, 6: Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

A 21 m-depth ice core were taken from Belukha Glacier, Russian Altai Mountains in July 2001, and snow samples were collected from a 2.4 m-depth pit at the glacier in July 2002. Hydrogen peroxide (H_2O_2) concentrations and OH (hydroxyl) radical photoformation rates were determined in the pit samples by using HPLC. Both H_2O_2 concentrations and OH radical photoformation rates in these samples had peaks in depth corresponding to summer season. On the average, H_2O_2 contributed more than 75% of OH radical photoformation rates in the pit samples. H_2O_2 concentrations in the ice-core samples ranged widely from 0.14 – 219 ng g⁻¹ and had some peaks in the summer-season layers determined by pollen analysis. It was speculated that these compounds in the glacier showed variations corresponding to strength of solar radiation.

【はじめに】 過酸化水素は、大気中において光化学反応により生成し、大気液相中での二酸化硫黄の硫酸への酸化に重要な役割を果たしていることが知られている。雪氷コア中でも、グリーンランドや南極での測定例があり、日射量に対応した季節変化を示すことが知られている (Nefel *et al*, 1984; Sigg and Nefel, 1991)。一方、OH ラジカル (ヒドロキシルラジカル) は、大気中で最も酸化力の強いラジカルであり、気相中では微量化学種の寿命を決める物質として、液相中でも様々な物質との生成、消失反応を行う物質として知られている。これらは人為活動による大気の潜在的酸化力の変化を示す指標となると考えられるものの、測定例は少ない。本研究では、アルタイ山脈ベルーハ氷河の試料中の過酸化水素および光化学的に生成する OH ラジカルについて測定を行ったので報告する。

【方法】 氷河試料はロシア連邦アルタイ山脈のベルーハ山氷河 (49°49' N, 86°34' E, 4100 m) にて 2001 年にアイスコア (約 21 m)、2002 年にピット (約 2.4 m) の各試料を採取した。アイスコアは約 10 cm の各層から約 15 mL ずつを 3~5 層ずつ、ピットは 1 または 2 層 (1 層=数~16 cm) を一つの試料とした。これらをろ過後、過酸化水素 (アイスコア、ピット試料両方) は酵素を使用した、HPLC-ポストカラム蛍光光度法で測定した。また OH ラジカルの光化学的生成速度 (ピット試料のみ、単位: nmol L⁻¹ hr⁻¹) は、新垣ら (1998) の方法で行った。即ち、

試料に一定濃度となるようベンゼンを添加し、擬似太陽光を照射し、生成した OH ラジカルとベンゼンとの最終生成物であるフェノールを HPLC で定量することで求めた。

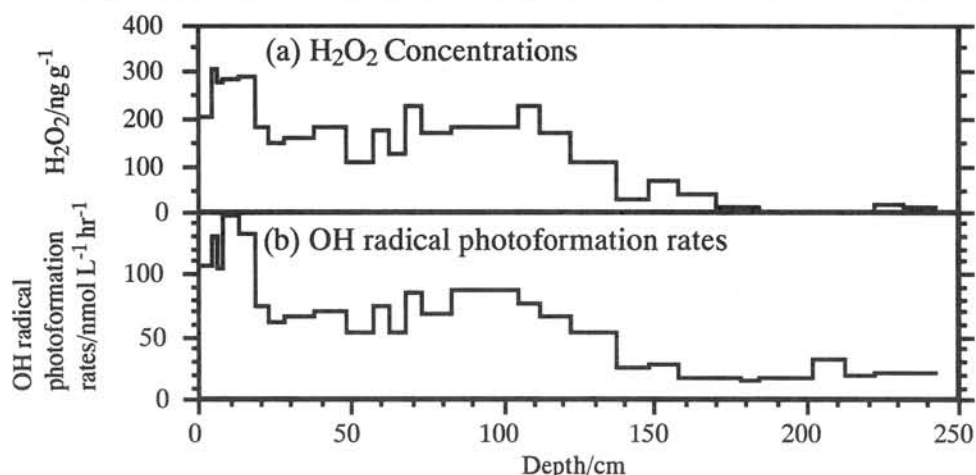


Fig. 1 (a) Hydrogen peroxide concentrations and (b) OH radical photoformation rates in the pit samples at Belukha Glacier, Russian Altai mountains.

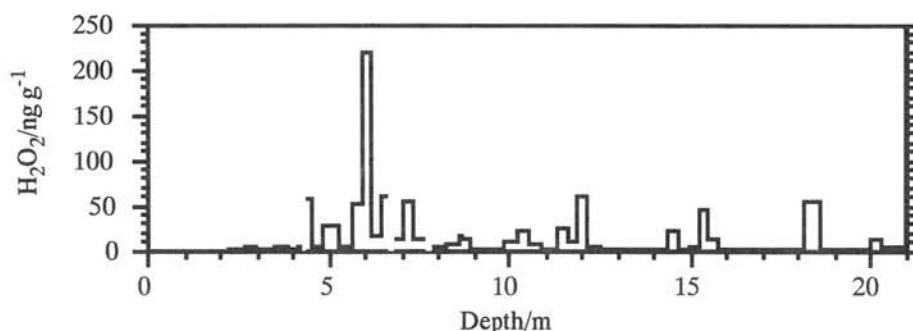


Fig.2 Hydrogen peroxide concentrations in the ice-core samples at Belukha Glacier, Russian Altai mountains.

【結果と考察】 Figure 1 にピット試料の、Figure 2 にアイスコア試料の測定結果をそれぞれ示す。ピット試料では採取した 2002 年の夏季と思われる深さ 0 – 20 cm 程度でいずれの成分についても極大となり、日射量に応じた変化が示唆された。また OH ラジカル生成寄与について計算すると、一部小さいところがあるものの、特に両成分の濃度、生成速度が大きいところでは、80%以上が過酸化水素起源だった。またアイスコア試料について過酸化水素濃度は、0.14-219 ng g⁻¹ と幅広い濃度範囲を示した。花粉の年層結果（中澤、2003、Personal communication）とあわせるとピット同様、夏季に該当する深度で特に濃度が大きく、そのほかでは濃度が非常に低いことが分かった。融解の影響の受けにくい内陸氷河では、過酸化水素の日射量に対応した季節変化が保存されている可能性が高く、今後より詳細な解析が必要である。

References

- 新垣雄光、三宅隆之、柴田美智恵、佐久川弘（1998）：雨水・露水中に光化学的に生成するヒドロキシルラジカル量の計測、日本化学会誌、No. 9、619-625.
- Neftel, A., Jacob, P. and Klockow, D. (1984): Measurements of hydrogen peroxide in polar ice samples, *Nature*, **311**, 43-45.
- Sigg A. and Neftel, A. (1991): Evidence for a 50% increase in H₂O₂ over the past 200 years from a Greenland ice core, *Nature*, **351**, 557-559.

PII. 11

AAMP2002 で観測された北極域対流圏から下部成層圏にかけての CO₂ 濃度

町田敏暢（環境研）、森本真司（極地研）、渡井智則（地球人間環境フォーラム）

Tropospheric and lower stratospheric CO₂ mixing ratio in the arctic region observed by Arctic Airbone Measurement Program 2002.

Toshinobu Machida (National Institute for Environmental Studies), Shinji Morimoto (National Institute of Polar research) and Tomonori Watai (Global Environmental Forum)

Abstract: Tropospheric and lower stratospheric CO₂ mixing ratios were measured onboard the aircraft in Arctic Airborne Measurement Program 2002. Steep vertical gradients in CO₂ mixing ratio were observed in the lower stratosphere. Whereas small gradients were seen in the troposphere, reflecting weak sources and sinks for CO₂ in winter season. No systematic difference

要旨

2002 年の 3 月に実施された北極圏航空機観測（Arctic Airborne Measurement Program 2002; AAMP2002）において航空機に CO₂ 濃度連続観測装置を搭載し、北極域対流圏及び下部成層圏における CO₂ 濃度の空間分布を観測した。

CO₂ 濃度は下部成層圏において高度と共に急激に減少する鉛直勾配が存在しているが対流圏においては鉛直方向の濃度勾配は比較的小さかった。1998 年 3 月に行われた同様の航空機観測 AAMP98 では対流圏の CO₂ 濃度は高度方向にほぼ均一か、勾配があっても地表付近と圏界面付近の濃度差はせいぜい 2ppm であった。これに対して 2002 年は全体的に対流圏の濃度勾配が大きく、アンカレッジでは濃度差が約 3ppm に達している（図 1）。

下部成層圏における水平分布は緯度方向に CO₂ 濃度の系統的な勾配は見られなかったが、名古屋付近では圏界面高度が高いために対流圏の影響を受けて CO₂ が高濃度になっていた。AAMP98 では対流圏大気の影響を受けた高濃度の CO₂ が高度 11km の水平飛行中に観測されたが、AAMP2002 ではそのような現象はなかった。

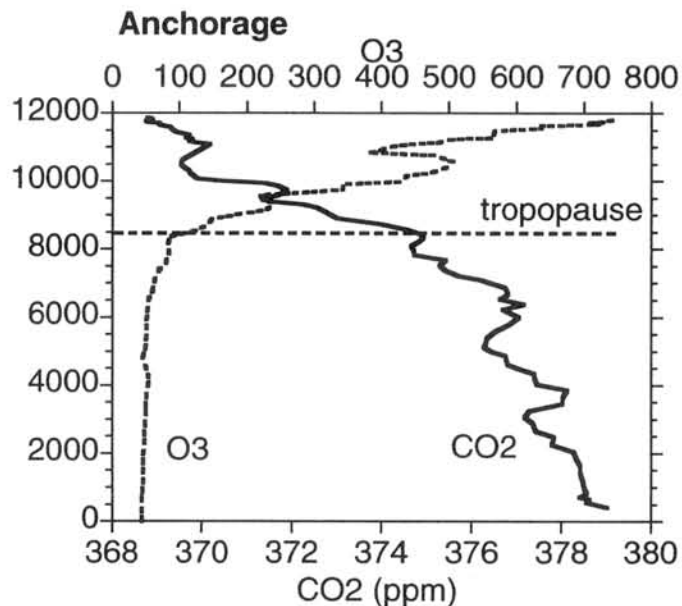


図 1. アンカレッジ上空で観測された CO₂ と O₃ の鉛直分布

PII. 12

ACSYS-ABSIS 2003 観測参加報告

館山一孝, 白澤邦男, 高塚徹 (北大流水研), Jouko Launiainen, Pekka Kosloff,
Tuomo Roine (フィンランド海洋研究所)

Report from ACSYS-ABSIS 2003 Campaign

K. Tateyama, K. Shirasawa, T. Takatsuka (SIRL, ILTS, Hokkaido Univ.), Jouko
Launiainen, Pekka Kosloff, Tuomo Roine (Finnish Institute of Marine
Research)

International scientific campaign 'Arctic Systems - Arctic Atmospheric Boundary Layer and Sea Ice Interaction Study 2003 (ACSYS-ABSIS 2003)' was carried out to gather meteorological, sea ice and hydrographic observations and to quantify the atmospheric and oceanic forcing to the sea ice, and its variations and dynamics during March 26 - April 24, 2003 in the Fram Strait. Observations are made for studies of processes of momentum and heat transfers between the atmosphere and sea through the ice. The meteorological observations cover radio balloon soundings and automatic weather stations and detection of ice/snow temperatures from the ship. Measurements of turbulent and radiation fluxes are made from the sea ice.

2003 年 3 月 26 日から 4 月 24 日にかけて、北極域における大気・海洋・海氷に関する国際観測プロジェクト「Arctic Systems - Arctic Atmospheric Boundary Layer and Sea Ice Interaction Study 2003 (ACSYS-ABSIS 2003)」がグリーンランド海東部のフラム海峡で行われた。本観測はフィンランド海洋研究所の砕氷船 Aranda, ドイツ・アルフレッドウェゲナー研究所の砕氷船 Polarstern, イギリスの潜水艦とジェット機 Falcon, 及び 11 機のアルゴスブイによって行われた。観測域であるフラム海峡はグリーンランドとスバールバル諸島の間の北緯 78~82 度の範囲の海域であり、この海峡では東グリーンランド海流の影響を受けて多年氷を多く含む海氷が南方へ輸送されている。この ACSYS-ABSIS 2003 の目的は、大気-海氷-海洋間における運動量・熱の交換過程を観測することであり、北極海で最も海氷の移動が活発なフラム海峡において大気や海洋の局所的な変動が海氷に及ぼす影響のメカニズムを調査することである。本観測に参加した砕氷船 Aranda にはフィンランド海洋研究所、ハンブルグ大、中国極地研、北海道大学が乗船し、船からの CTD, ADCP, ラジオゾンデ、気象観測と海氷上での熱収支観測、乱流観測、積雪・海氷観測を行った。北海道大学は海氷下の乱流の計測を担当し、電磁式流速計を海氷の底面から 50cm, 5m の位置に設置して運動量や熱フラックスを計測した。

JARE44 夏隊における「しらせ」船上海氷観測結果について

宇都正太郎、下田春人、泉山耕(海上技術安全研究所)

牛尾収輝、橋田元(国立極地研究所)、若林裕之(宇宙航空研究開発機構)

On the Results of Sea Ice Observations onboard "Shirase" during the Summer Operation of JARE 44

Shotaro Uto, Haruhito Shimoda, Koh Izumiyama (NMRI)

Shuki Ushio, Gen Hashida (NIPR), and Hiroyuki Wakabayashi (JAXA)

Sea ice observations were conducted onboard icebreaker "Shirase" during the summer operation of JARE44. In the pack ice, the ice + snow (total) thickness measured by the electro-magnetic induction method showed gradual increase as the south latitude. It reached up to 5 m thick. In the land fast ice, there existed a discontinuity in the distribution of the total thickness. Its location changed year by year, which reflected the change of the breakup pattern of the land fast ice.

はじめに

JARE では 42 次夏隊以来、南極観測船「しらせ」の船上で、電磁誘導(EMI)法及びビデオ法を用いた氷厚観測を実施中である(Uto et al. 2002)。本観測ではこれまで昭和基地が位置するリュツォ・ホルム湾の定着氷を主なターゲットとしてきたが、44 次では定着氷の北側に広がる流氷域についても観測することができた。本編では 44 次夏隊で得られた観測結果を速報として報告する。

観測結果

Fig.1 に全氷厚(氷厚+積雪深)と緯度の関係を示す。なお全氷厚は EMI 法による観測結果である。

はじめに流氷域に着目すると、往路における流氷の厚さは緯度とともに増加する傾向を示している。局所的に厚さ 5m を超える氷盤も観測されている。Worby et al. (1998) も東経 140~150 度の流氷域で氷厚 3~10m の "High Freeboard Floe" の存在を報告している。また往路に比べて復路では流氷域が大幅に縮小していることがわかる。

次に定着氷域に着目すると、南緯 69.1 度(東経 39.3 度)付近に氷厚分布の不連続が存在することが

わかる。同様の不連続は 42、43 次の観測結果にも見られ、一年氷と多年氷の境界に相当し、定着氷の流出に起因すると考えられる。ただし、定着氷の流出パターンの変動に伴って、その位置は年毎に変化している。すなわち 42 次では東経 38.9 度付近にあったが、43 次では 39.4 度付近まで後退していた。44 次は両年の中間に位置している。

次に往路と復路での全氷厚の差を見ると、南緯 68.9~69.0 度の一年氷域の平均で往路の 1.69m から復路では 1.19m となり、0.5m の減少が認められた。このうち積雪深(ビデオ法により観測)は 0.24m から 0.10m へ、0.14m の減少が見られた。従って夏季の 2 ヶ月弱の期間における海氷の衰耗量は 0.36m と見積もられる。

おわりに

本観測の実施にご協力いただいた観測隊及び「しらせ」乗組員の皆様に感謝する。

参考文献

Uto et al. (2002), Proc. Of POAC

Worby et al. (1998), Antarctic Sea Ice, Physical Process, Interactions and Variability

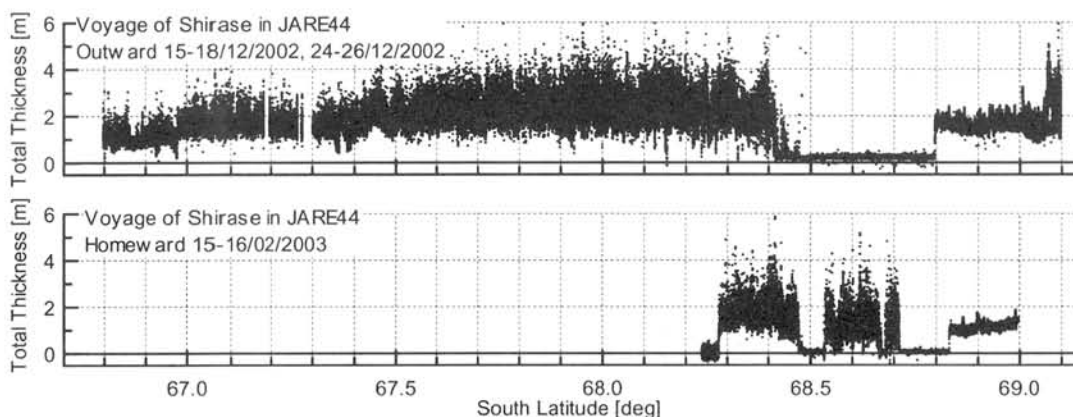


Fig.1 Total Thickness Distribution measured by EMI Method

SATVAL2003 における電磁誘導式氷厚計による南極海氷厚観測

○館山一孝, 白澤邦男 (北大流氷研), 榎本浩之 (北見工大), 田村岳史 (北大地球環境), 武藤淳公, 西尾文彦 (千葉大環境リモセン), 牛尾収輝 (極地研), 宇都正太郎 (海上技術安全研究所), R. Massom (タスマニア大)

Sea-ice thickness measurements in the Antarctic Ocean by using the electromagnetic-inductive (EM) sounding in the SATVAL2003 program

○K. Tateyama, K. Shirasawa (SIRL, ILTS, Hokkaido Univ.), H. Enomoto (Kitami Inst. Tech.), T. Tamura (EES, Hokkaido Univ.), A. Muto, F. Nishio (CEReS, Chiba Univ.), S. Ushio (NIPR), S. Uto (National Maritime Res. Inst.) and R. Massom (ACE, CRC, University of Tasmania)

Abstract: Satellite Remote Sensing Validation Experiment, Cruise Voyage1 2003/4 (SATVAL2003) will be carried out from September 11 to November 1, 2003. The purposes in the SATVAL2003 are to measure sea-ice thickness by the EM and to survey thickness, temperature and salinity of ice, and depth, temperature and density of snow on the ice floe to validate AMSR data.

電磁誘導法は本来地中の金属を探索することなどに用いられてきたが、破壊・接触なしに物体の誘電率を測定できることから氷厚測定への利用が始まった (Kovacs et al., 1987, Multala et al., 1996, Haas et al., 1997). 我が国でも宇都らによって2000年より「しらせ」にEMIを設置し、南極リュツオ・ホルム湾の定着氷の氷厚観測などが行われている。本観測は2003年9月11日より11月1日にかけて行われる予定であるオーストラリア南極海海氷観測プログラム「Satellite Remote Sensing Validation Experiment, Cruise Voyage1 2003/4 (SATVAL2003)」の一環で人工衛星マイクロ波放射計 AMSR 及び AMSR-E の地上検証として計画された。SATVAL2003 ではオーストラリア南極局 (AAD) による船舶からの EMI 観測とドイツのアルフレッド・ウェーゲナー研究所によるヘリからの EMI 観測が行われる予定であり、日本グループの役割と観測の目的は、他のグループとの共同で氷上の EMI 観測と掘削による実測氷厚と積雪深の測定、積雪断面観測、海氷コアの取得を行い、EMI 観測の校正と氷厚測定、及び AMSR シリーズの検証に必要な海氷・積雪の物理情報を取得することである。

氷盤上での歩行による氷厚測定には周波数 9.8kHz の Geonics 社製電磁誘導式氷厚計 EM-31/ICE を使用する。これまでの観測結果から、一枚氷における EM-31/ICE の氷厚測定精度

は誤差が 10%以下であることが報告されている。EMI-31/ICE の空間分解能が約 4m であることから、4m 間隔のグリッドで 50m_50m の広範囲にわたる氷厚分布を観測する計画である。EMI から得られる誘電率(mS/m)から氷厚の値(m)に換算するには海氷中に含まれるブラインの量を見積もらなくてはならない。このため海氷コアを取得し、氷温と塩分を鉛直方向に 5cm 間隔で取得する。また、海氷上の積雪の影響を見積もるため、誘電率計を用いて積雪の誘電率を測定する計画である。衛星マイクロ波放射計データから積雪の影響を考慮した海氷厚を推定するアルゴリズムを開発するために、上記で述べた EMI による海氷分布の取得と併せて、1つのアイステーションにつき 3, 4 点について積雪断面観測と海氷の表面温度測定を行う予定である。

氷海航行記録から推定する南極リュツォ・ホルム湾の氷状変化

牛尾 収輝・鮎川 勝（極地研）

Characteristics of sea ice variation in Lützow-Holmbukta, Antarctica derived from ice navigation log

Shuki USHIO and Masaru AYUKAWA (NIPR)

Sea-ice variation in Lützow-Holmbukta, Antarctica, has been investigated for the period of 1983-2002 using ice navigation log of icebreaker *SHIRASE*. Ramming icebreaking data are useful for estimation of interannual variation of ice condition. Penetration distance by ramming is regarded as an index for difficulty of ice navigation and characteristics of ice condition will be reflected in the distance variation. The periods for longer distances are consistent with those occurring events of sea-ice breakup in Lützow-Holmbukta.

1. はじめに

1983年に就航した砕氷艦「しらせ」は、2002/03年の第44次観測協力行動で、通算20回の南極航海を果たした。リュツォ・ホルム湾において「しらせ」は、毎年ほぼ同じ時期、同じ海域を航海していることから、同湾の海水状況をモニタリングする恰好のプラットフォームとも言える。しかし、これまで海水に関する研究観測は、系統的に実施されていない。そこで、船が氷海を航行していること自体が測定である（吉田,1985）という観点から、「しらせ」の航海記録の利用、解析に着手した。本研究では、海水状況が砕氷航行の難易度に反映していると考え、海水変動の実態を把握するために氷海航行の記録から氷状変化の推定を試みた。

2. 用いた資料

氷海を航行する「しらせ」船上では、流水縁・定着氷縁の位置、氷厚と積雪深の目視計測など氷状に関して記録、報告されている（南極地域観測協力実施報告書）。連続砕氷が不可能な氷海に入ると、ラミング（チャージングとも呼ばれる）を行う。これは後進で助走路を確保し、大きい船速で氷盤に突入し、乗り上げた船体の自重で砕

氷する手法である。ラミング時の速力や助走距離、進出距離、実施回数も詳細に記録されている。本研究では、1983年（25次隊）から2002年（44次隊）までの過去20年間にわたる記録のうち、往路のデータを用いた。砕氷航行の難易度を示すラミングに関するデータから、氷状の特徴を抽出する。

3. ラミングによる進出距離の年々変化

砕氷航行の難易度の指標として、ラミングによる進出距離を調べた。図1に進出距離と最大氷厚／最大積雪深との関係を示した。共に負の相関が見られる。進出距離が短いことは、氷厚、積雪深共に大きく、船にとって厳しい氷状であったことを示す。図2に進出距離の年々変化を示す。1980年代半ばと1990年代末から2002年までは、進出距離が長くなっており、これらは湾内海水の流出頻発期とも一致している。流出によって、氷厚や積雪深の増大が抑制された結果であると考えられる。

本研究は海上技術安全研究所氷海技術研究グループと共同で進めているものである。

<文献>

吉田栄夫(1985): 南極資料, 86, 119-124.

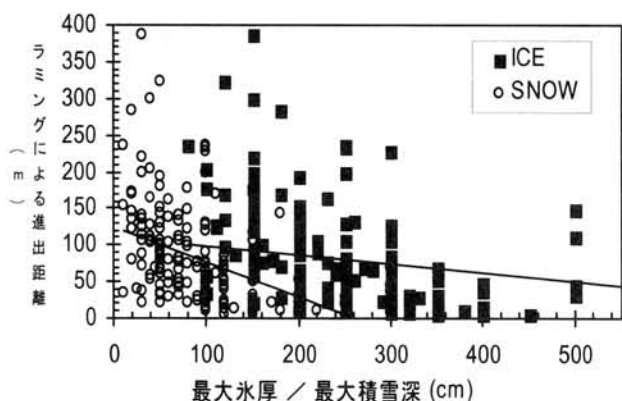


図 1. 進出距離と最大氷厚・最大積雪深の関係。

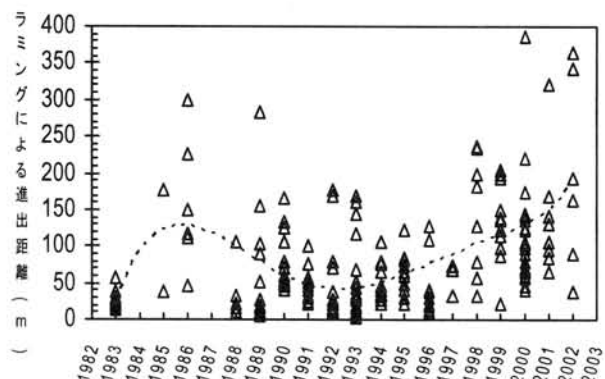


図 2. 進出距離の年々変化（1983年～2002年）。破線は多項式近似曲線。

PII. 16 オホーツク海南部における厚い海氷・積雪の現場観測

～2003 年 2 月の観測から～

豊田威信、高辻慎也、舘山一孝（北大低温研）、中山雅茂（NASDA）

直木和弘（千葉大）、大島慶一郎（北大低温研）

In-situ observation of thick sea ice and overlying snow in the southern Sea of Okhotsk

T.Toyota, S.Takatsuji, K.Tateyama (Hokkaido Univ. ILTS), M.Nakayama (NASDA)

K.Naoki (Chiba Univ.), K.I.Ohshima (Hokkaido Univ. ILTS)

In order to investigate the features of relatively thick ice existing in the southern Sea of Okhotsk, the ice sampling method with a basket and an ice auger was developed for the 2003 winter observation. This method enabled us not only to easily collect thick ice samples, but also to examine the properties of overlying snow. From analysis it is found that for ice samples granular ice occupies much more fraction (about 63%) than columnar ice (about 30%) and layered structure (averaged unit thickness 8.7cm) is prominent, and that for overlying snow depth hoar is dominant (about 69%). The former results almost coincides with the results obtained for thinner ice from 1996 to 2000 and shows the importance of dynamic processes to ice growth also for thick ice in this region.

はじめに 北大低温研では第一管区海上保安本部および巡視船「そうや」の協力を得て、1996 年以降毎年 2 月にオホーツク海南部で海氷現場観測を行ってきた。これまでの観測から、オホーツク海南部の海氷の特性が少しずつ解明されつつある（豊田と河村、2002）。

すなわち、平坦な氷の平均氷厚はおおよそ 30～50cm であること、海氷の結晶構造は粒状氷が卓越していること（64%）、氷盤が乗り重なってできたと思われる層状の構造が頻繁に見られることなどが分かってきた（平均層厚 8.2cm）。しかし、従来海氷サンプリングは主としてロープや網で引き上げる手法を用いていたため、薄い氷に偏る傾向があった（最大氷厚 76cm）。一方で、北海道沿岸の係留系ソナー観測によって氷厚数 m を超えるような厚い氷盤も時折見られることも明らかになってきた（Fukamachi et al., 2003）。従って、オホーツク海における海氷の特性の全体像を知るうえでは、従来の観測結果に加えて厚い海氷の性質も調べることは不可欠と考えられる。そこで 2003 年の観測では、比較的厚い海氷の特性を調べることを目的に据え、バスケットを用いる手法を導入した。この手法に

より 10 地点の first-year ice（最長 167cm）の海水コアを採取することができた。加えて、海氷上の積雪の性質も調べることができたのも収穫であった。ここでは観測の概要及び結果について報告する。

観測方法 厚い海氷を採取するために、オーストラリアの研究グループが南極海氷観測に用いている方法に倣って、船舶のクレーンを用いて機材と観測者を搭載したバスケット（底面 1.5m 四方、高さ 1m）を氷上に運搬する手法を導入した。ただし、氷上に下りる危険を冒すことなくサンプリングできるように、バスケットの底に掘削用に直径 40cm の孔をくり抜いてバスケット内でコアドリルの操作ができるように工夫した。

氷上では、アイスオーガーによる海水コア採取、コアの温度測定（5cm 間隔）、積雪断面観測、積雪サンプリング、海水温・気温の測定、海氷表面の粗度の調査を行った。観測ポイントは 16 地点、各々の所要時間は 30 分～1 時間程度であった。海水コア採取のみならず、海氷上の積雪の直接観測・サンプリングが行えたことは意義深い。ほとんどの海氷は雪で覆われてお

り、衛星データから海氷の特性を読み取るためには海氷上の積雪の知見は欠かせないものである。しかしながらオホーツク海においては、観測例は非常に限られており、ほとんど実態は知られていないためである。その意味でもバスケットを用いた観測は有意義であった。

採取した海氷コアは低温室(-15℃)に保存し、海氷密度・塩分・ $\delta^{18}\text{O}$ の鉛直プロファイル(3cm 間隔)および結晶構造の解析を行った。

結果 観測結果の一例(コア長 91cm、積雪深 6cm)を図に示す。積雪内と海氷内の温度傾度の違い、海氷の結晶の構造から何枚もの氷盤が積み重なって形成されたこと(この例では 13 層と推定)が読み取れる。積雪層の雪質は上から 2cm ずつ新雪、こしまり雪、こしもざらめ雪であった。塩分は各々 0.11, 0.71, 4.97psu であり、海水のしみ上がりの影響は主として氷の直上 2cm 程度であったことが分かる。

海氷の全サンプル(16 例、平均コア長 50cm)で結晶構造の統計をとると、frazil ice 起源と思われる粒状氷の占める比率は 63%で最も高く、短冊状氷は 30%程度であった(表 1)。また、いずれも層状構造が発達しており、結晶や厚片(5mm)の鉛直構造などから推定した全体の平均層厚は 8.7cm であった。これらの結果は従来の観測結果とほぼ一致しており、厚い氷も比較的薄い氷と同様、平均的には厚さ 5~10cm 程度の氷盤が積み重なって発達していると考えられる。

海氷上の積雪(12 例)に関しては、平均積雪深は 8.9cm であり、雪質はこしまり雪あるいはこしもざらめ雪が全体の約 70%を占め、こしまり雪やしまり雪よりも圧倒的に多いことが分かった(表 2)。これは鉛直方向の温度勾配によって雪が変質する効果が大いことを示している。Sturm et al.(1998)による南極域冬季の観測結果においてもこしもざらめ雪が卓越しており、氷厚が比較的薄いため積雪深があまり発達しない季節海氷域の共通した特徴と言える可能性がある。また、ざらめ雪はいずれも積雪の底部に見られ、氷との境界から海水の浸透によって形成されたものと考えられる。

謝辞 観測にあたりましては、巡視船「そうや」乗組員の方々、第一管区海上保安本部、下田春人氏(海上安全技術研究所)および猪上淳氏(北大低温研)、バスケットの製作に当たりましては新堀邦夫氏(北大低温研)の協力を得ました。本観測は共生プロジェクト(RR2002)の経費を用いて行われました。

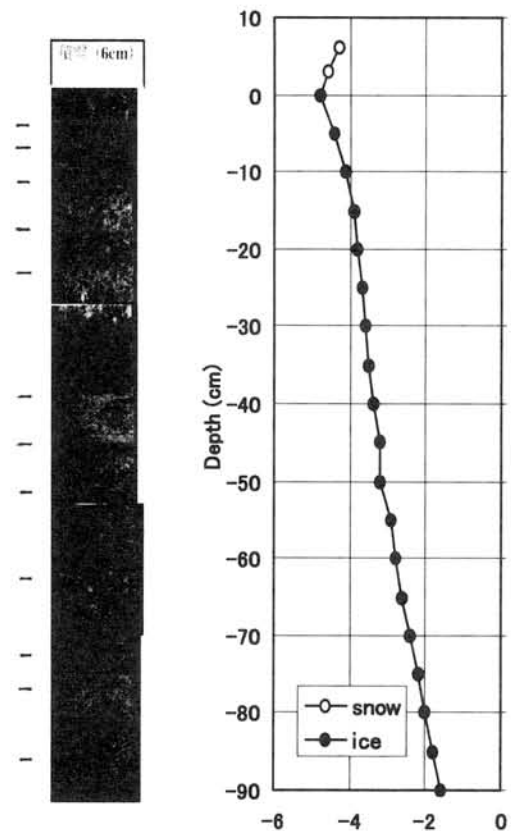


図. 解析結果の一例 (N44 57' E144 39')

(左: 結晶構造、右: 温度プロファイル)

海氷密度: $881 \pm 19 \text{ kg/m}^3$ 塩分: $5.54 \pm 0.9 \text{ psu}$

平均層厚: 7.0cm 粒状氷: 76% 気温: -3.8°C

表 1. 海氷の結晶構造の統計

Type	snow ice	granular	columnar	g/c mixed
Frac (%)	3.5	63.3	29.6	3.5
Thick (cm)	2.8	6.2	7.1	1.4

表 2. 海氷上積雪の雪質の統計

新雪	こしまり	しまり	ざらめ	こしもざらめ	しもざらめ	表面霜
19.3	7.5	0.0	19.2	12.6	55.9	0.9

一つの層に2種類以上の雪質を含む場合あり (unit:%)

オホーツク海のメタンハイドレート調査（カオス計画）

南 尚嗣・八久保 晶弘・坂上 寛敏・百武 欣二・高橋 信夫・庄子 仁（北見工業大学）、
アナトリー・オブジロフ（V.I.イリチェフ太平洋海洋学研究所）

Methane hydrate studies in the Okhotsk Sea (CHAOS project)

H. Minami, A. Hachikubo, H. Sakagami, K. Hyakutake, N. Takahashi, H. Shoji
(Kitami Institute of Technology), A. Obzhairov (V. I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute)

CHAOS (hydro-Carbon Hydrate Accumulations in the Okhotsk Sea) project is an international and comprehensive research effort to understand the formation mechanism of hydrate accumulations off Sakhalin island. Field works are carried out by using RV Lavrentiev (POI). Research surveys include side-scan sonar, seismic-acoustic profiling, methane sensor, CTD and thermal probe measurements for the first leg in August. Gravity coring and CTD measurement will be conducted during the second leg in September.

メタンハイドレートは、海底や永久凍土などの低温高压条件下で安定に存在している氷状の結晶固体で、内部にメタンガスを大量に包有している。地球上に存在すると推定されるハイドレート中のメタンガス量は膨大であり、科学的にも社会的にも極めて重要な物質である。将来のエネルギー資源としての可能性は、ハイドレートの体積中に約160倍の体積のメタンガス（標準状態）を包有するという集積性の高さと、その鉱床が世界各地に広く分布しており世界各地のエネルギー自給を促進できるという利点に基づいている。

一方、メタンガスは強力な温室効果ガスである。地球温暖化現象を理解するためには、地球上のカーボンサイクルを知ることが基本的に重要であるが、炭素の貯蔵庫としてのハイドレート鉱床に関する研究は、最近開始されたばかりである。また、メタンハイドレートの大部分は海底の堆積物中に分布して存在する。固体のハイドレートは、セメントとして周囲の堆積物粒子を固結させており、その分解は固結堆積層の流動化による海底地滑りをもたらす可能性があり、掘削等の人間活動や地震等の自然要素の変化によって鉱床形態が変化すれば、付近の生態系にも重大な影響を与えると思われる。

本研究では、オホーツク海の海底に存在するメタンハイドレート鉱床を対象として、将来のエネルギー資源としての活用の基盤となる開発研究を行うことを目指している。そのために、以下の項目に関するフィールドおよび実験室研究の集積が必要であり、日・露・独・ベルギー・韓の研究者グループによる国際共同体制で研究を推進する予定である。

- (1) 天然のメタンハイドレート結晶のキャラクタリゼーション
- (2) 海底におけるメタンハイドレート鉱床の分布形態
- (3) ハイドレート鉱床の生成／解離メカニズム
- (4) ハイドレート鉱床の環境変化に対する安定性
- (5) ハイドレート鉱床の形態変化が環境におよぼす影響

以上の解析研究によって、オホーツク海における現在のハイドレート鉱床の生成環境および生成過程の理解に基づいた鉱床特性が解明され、鉱床の存在と大気／水圏との関係が明らかにされることにより、環境に配慮した鉱床開発のための科学的基盤が構

築されると期待される。

＜本年夏のフィールド調査計画（案）＞

1 調査船：V.I.イリチェフ太平洋海洋学研究所の調査船「ラブレンティエフ」号

2 日程および調査項目

1) Leg 1

7月31日 調査船がウラジオストクを出港、網走に向かった。

8月5日 調査船が網走を出港して、調査海域に向かった。

8月8日 調査海域（サハリン沖）に到着して以下の調査を行う。

- ・ サイドスキャンソナー
- ・ サイスマックアコースティックプロファイリング
- ・ メタンセンサー
- ・ CTD
- ・ サーマルプローブ

8月12日 作業を完了して調査海域を出発する。

8月16日 調査船がウラジオストクに帰港する。

2) Leg 2

9月X日 調査船がウラジオストクを出港、調査海域に向かう

X+4日 調査海域（サハリン沖）に到着して以下の調査を行う

- ・ 堆積物コア採取
- ・ CTD

X+10日 調査を完了して調査海域を出発する

X+14日 調査船がウラジオストクに帰港する

注）出港日9月X日は、9月20～22日頃の予定である。尚、詳細は、発表当日に報告する予定である。

PII. 18

Winter-summer difference in the surface water CO₂ system in the Greenland Sea in the late 1990's: connection to the North Atlantic Oscillation and deep convection?

Melissa Chierici and Agneta Fransson

Both at: National Institute for Environmental Studies (NIES), 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506, Japan

We will present changes between winter and summer in salinity normalized nitrate and dissolved inorganic carbon in the central Greenland Sea for four years with significantly different marine climate; 1995, 1996, 1997 and 1998. Biological production was calculated based on nitrate data compensated for the effect caused by vertical diffusion. The residual change in nitrate was considered a result of production or decay of organic matter and recalculated to carbon equivalents with a carbon to nitrate ratio of 7.5. From the difference between the observed change in dissolved inorganic carbon and the carbon change caused by biological processes we estimated the air-sea CO₂ exchange from winter to summer. All years showed a loss of dissolved inorganic carbon, this loss was mainly attributed to drawdown of carbon during biological production in 1995 and 1996. However, after 1996 summer nitrate values were higher than the winter values implying addition of nutrients, possibly from waters from below. This resulted in a large variability in our estimates of the air-sea CO₂ exchange. In 1995 the ocean acted as a sink of atmospheric CO₂ while acting as a CO₂ source the other years. From 1993 to 1995 the area had minimal deep convection and was relatively ice free, in contrast to winter 1997 when the area had an extensive ice cover and increased convection. We will place the observed changes into context with difference in ice cover, sea surface temperature, deep convection and the reported change in the North Atlantic Oscillation between winter 1995 and 1996.

Inter-annual variability of sea-surface pCO₂ and sea-air CO₂ fluxes in the Beaufort Sea. Can we observe a short-term effect of the Arctic Ocean oscillation index?

Fransson A.¹, L.A. Miller² and R.W. Macdonald²

¹National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba, 305-8506 Ibaraki, Japan

²Institute of Ocean Sciences, Sidney, BC, Canada

The atmospheric climate systems over the Arctic Ocean (AO) influence the physical and biogeochemical processes in the ocean. These climate systems show annual variability, called the AO oscillation, which may result in different physical conditions for biological production and sea-air CO₂ exchange. In this study we investigate the surface-water pCO₂ and sea-air CO₂ fluxes on the shelf in the Beaufort Sea during three years with both positive and negative AO oscillation index. In 1995 and 2000, the AO oscillation winter index was positive, which means that strong, westerly winds in the Arctic prevent cold air in the polar region to move southwards. However, in 1996 the AO oscillation index changed to a negative mode. Can we see an effect of the Arctic Ocean oscillation in our oceanic pCO₂ data?

We calculated pCO₂ and sea-air CO₂ fluxes from summer surface-water data of total dissolved inorganic carbon and total alkalinity. Additional data of atmospheric pCO₂, nutrients, salinity, sea-surface temperature (SST) and wind speed were used, and 3-year averages and anomalies for each year were calculated. These anomalies showed that the pCO₂ values in summer 1995 and 2000 were higher than the 3-year average, while lower in 1996. Assuming that biological production governs the pCO₂ change in summer, this implies that biological drawdown was less pronounced during years with positive AO oscillation index in this 3-year period, and more significant during a year with negative index. The relatively larger pCO₂ undersaturation in 1996 resulted in a larger oceanic uptake of atmospheric CO₂, compared to the other years. We will also discuss other processes related to the variability in surface-water pCO₂.

PII. 20 混合ガスハイドレート生成時のガス分別過程

八久保 晶弘・三浦 拓・山田 浩太郎・百武 欣二・阿部 清・庄子 仁（北見工大）

Gas fractionation process on formation of mixed-gas hydrate

A. Hachikubo, T. Miura, K. Yamada, K. Hyakutake, K. Abe and H. Shoji
(Kitami Institute of Technology)

Experiments of gas hydrate formation were conducted to understand the fractionation process of mixed-gas at a hydrate formation. Samples of gas hydrate were formed from ice powder and guest gas (CH_4 and CO_2 mixture gas) in a pressure cell. The results showed that the equilibrium pressure increased with the initial pressure, which corresponds to the degree of supercooling for hydrate formation. It indicates that a formation speed affects the ratio of mixed-gas in the phase of hydrate and determines the equilibrium pressure on formation of mixed-gas hydrate.

はじめに

ガス分子を水分子が包接してできるガスハイドレートは、低温・高圧環境下で安定な物質である。近年、海底堆積物中や永久凍土中に存在する天然ガスハイドレートの資源利用や、ガスハイドレートの潜熱利用・混合ガス分離などの工業的応用が検討されている。本研究では、天然ガスハイドレートの形成過程の理解および混合ガス分離技術の確立を目的として、 CO_2 ・ CH_4 混合ガス生成実験を行ない、初期投入圧力と平衡圧との関係を求め、考察を行なった。

実験方法

容量 120ml、耐圧 20MPa のステンレス製耐圧容器に 23～45g の粉末氷（平均粒径 $0.04\mu\text{m}$ ）を入れ、これを恒温槽内（温度 268K）にしばらく静置する。次に CH_4 ・ CO_2 混合ガス（50mol% CH_4 ）を注入し、その際の初期圧力を記録する。ガスの注入直後から混合ガスハイドレートの形成が始まり、容器内圧力は減少し、そのときの混合ガス組成で決定される平衡圧付近まで指数関数的に漸近する。この平衡圧力を記録する。

実験結果および考察

初期圧力に対して平衡圧力をプロットしたグラフを図に示した。同温度条件下（268K）では、初期圧力が高いほどハイドレート生成後の平衡圧力も高くなるという傾向が認められる。また、本実験で得られた平衡圧力データは、ガス相がちょうど 50mol% CH_4 の際の平衡圧力である 1.281MPa（Sloan, 1998）よりも大きな値だった。したがって、本実験における平衡状態でのガス相では 50mol% CH_4 よりもメタン濃度が高かったと推定される。

268K における CH_4 ハイドレートおよび CO_2 ハイドレートそれぞれの平衡圧は 2.188MPa、0.938MPa であり（Sloan, 1998）、 CH_4 ・ CO_2 混合ガスハイドレートの平衡圧は両者の間の値をとることになる。しかし、ガス相からハイドレート相に相変化する際には CO_2 の方がよりハイドレート相に取り込まれやすいため、ここでガス分子の分別が起こることにより、ハイドレート生成後のガス相とハイドレート相とではガスの混合比に違いが生じる。すなわち、本実験のように粉末氷・ガス量が有限な閉鎖系では、ガス相の CH_4 混合比は相対的に大きくなり、逆にハイドレート相では CH_4 混合比

が小さくなる。

また、ガスハイドレートの相図から、初期圧力(>平衡圧力)が高いほど過冷却度、すなわちハイドレート結晶成長の駆動力が大きいと言える。このことから、本実験の結果は以下のように解釈できる。すなわち、初期圧力が高い場合には $\text{CH}_4 \cdot \text{CO}_2$ の両者がそれぞれハイドレートを構成しようとする駆動力の差が比較的小さくなるために、ハイドレート相にも CH_4 が取り込まれやすくなり、平衡圧が比較的高めとなる。これに対し、初期圧力が低い場合にはその駆動力の差が顕著に現われるために、ハイドレート相には CH_4 が取りこまれにくく、平衡圧が低めとなる。

仮に $\text{CH}_4 \cdot \text{CO}_2$ がお互い独立的でかつハイドレート成長の駆動力が等しいとすれば、50mol% CH_4 の混合ガスで生成するハイドレートの平衡圧はそれぞれの純粋なハイドレート平衡圧のちょうど中間、1.563MPa あたりをとることになり、同時にこの値が実験値の上限と考えられる。しかしながら、実際にはこれを上回る平衡圧を実現するケースが存在し、これらは説明が不可能である。本実験ではまだデータが少ないため、今後も実験を引き続き行なうとともに、ガス相・ハイドレート相それぞれに含まれるガス混合比の直接測定を行なう予定である。

結論として、混合ガスハイドレート生成時にはその成長速度が自らの平衡圧の決定に関与していると言える。以上の結果は、安定同位体の分別過程で知られる動的効果に類似しており、いっそうの研究の進展が期待される。

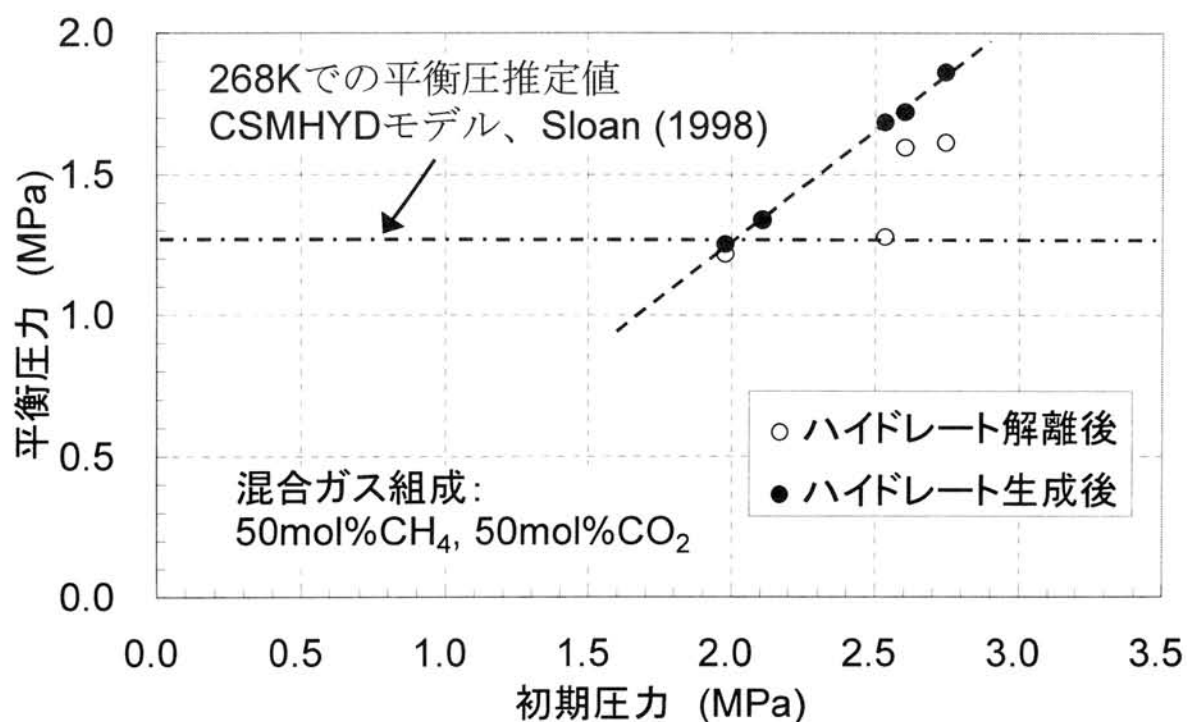


図 混合ガスハイドレート生成時の平衡圧力と初期圧力との関係。

CH₄・CO₂ハイドレートの生成・解離速度の比較実験

山田 浩太郎・三浦 拓・八久保 晶弘・百武 欣二・阿部 清・庄子 仁（北見工大）

Comparison of formation / decomposition speeds of CH₄ and CO₂hydrate

K.Yamada, T.Miura, A.Hachikubo, K.Hyakutake, K.Abe and H.Shoji

(Kitami Institute of Technology)

Experiments of gas hydrate formation/dissociation were conducted by monitoring pressure and temperature in a pressure cell. Samples of gas hydrate were made from ice-powder and gas (CH₄ or CO₂). Formation and decomposition speeds of samples were expressed as a change of internal pressure divided by reaction time. The results showed that the formation/dissociation speeds of CH₄ hydrate were smaller than those of CO₂ hydrate even in the almost same condition of supercooling. Formation/dissociation speeds of CO₂ hydrate seemed to increase/decrease with time, respectively.

はじめに

水分子が作る籠状の格子中にガス分子を包接してできるガスハイドレートは、低温・高圧の条件で安定な物質である。天然のガスハイドレートは、メタンガスを主成分とし永久凍土中や大陸縁辺の海底堆積物中などに多く存在している。また、新しいエネルギー資源としてはもちろん、ガスハイドレートの相変化に伴う潜熱の利用や天然ガスの輸送媒体としての工業的利用などについても注目されている。様々な条件に依存するガスハイドレートの生成および解離速度を求めることは、相変化プロセスの理解を深めるとともに工学的利用にも役立つと考えられる。そこで本研究では、ガスハイドレートの生成および解離速度の時間変化、圧力変化量による影響などについて実験および考察を行った。

実験装置および実験方法

ガスハイドレートの生成・解離実験には、ステンレス製の小型耐圧容器と恒温槽を用いた。容器内径 40mm、容量 120ml、耐圧 20MPa で、底は半球状になっている。容器内温度は白金抵抗温度計、容器内圧力は圧力センサーで測定された。実験手順は、以下の通りである。

まず、純水で作成した氷の粉末を耐圧容器に充填し、-3℃に設定した恒温槽に設置する。そこにガス（CH₄ あるいは CO₂）を注入しガスハイドレートを生成する。耐圧容器内が平衡圧に達したあと、ガス排出・注入によるガスハイドレートの生成と解離を交互に数回繰り返し、圧力および温度変化を測定する。

実験結果および考察

まず初めに、圧力と温度の時系列変化の例を図 1 に示す。最初に平衡圧+1.5MPa のガスを注入してからほぼ平衡圧に達するまでの時間を比較すると、CO₂ ハイドレートの 3.5 時間に対し、CH₄ ハイドレートでは約 100 時間もかかっていることが分かる。

次に、圧力の変化量を反応時間で割ることによって平均の生成・解離速度を求め、ガスハイドレートの生成・解離の繰り返し（圧力変化量は 0.2~0.3MPa）によって生成・解離速度がどのように変化していくかをそれぞれ図 2、図 3 に示した。図 2 からは、CO₂ ハイドレート生成速度はばらつきが大きい、生成・解離の繰り返しが進むにつれてやや増加する傾向が見られた。これに対し、CH₄ ハイドレート生成速度は CO₂ ハイドレートのそれを下回り、図 1 で見たように最初

の生成時では特に小さかった。

また図3より、 CO_2 ハイドレート解離速度は生成・解離の繰り返しとともに遅くなり、40時間後には半分近くにまで落ち込んでいる。その理由としては、粉末氷の粗大化や粒子同士の結合によって表面積が減少し、解離を抑制していることが考えられる。しかしながら、 CH_4 ハイドレート解離速度にはそのような傾向が見られず、実験後の粒度分布の測定など、今後の詳細な解析が待たれる。

CO_2 、 CH_4 ハイドレートのいずれにおいても、繰り返し実験の圧力変化量は0.2~0.3MPaであり、相変化の駆動力である過冷却度に大きな違いはない。それに関わらず、 CH_4 ハイドレートは CO_2 ハイドレートよりも解離・生成速度が明らかに遅く、また CO_2 ハイドレートについては生成速度の増加・解離速度の減少という興味深い傾向が見られた。

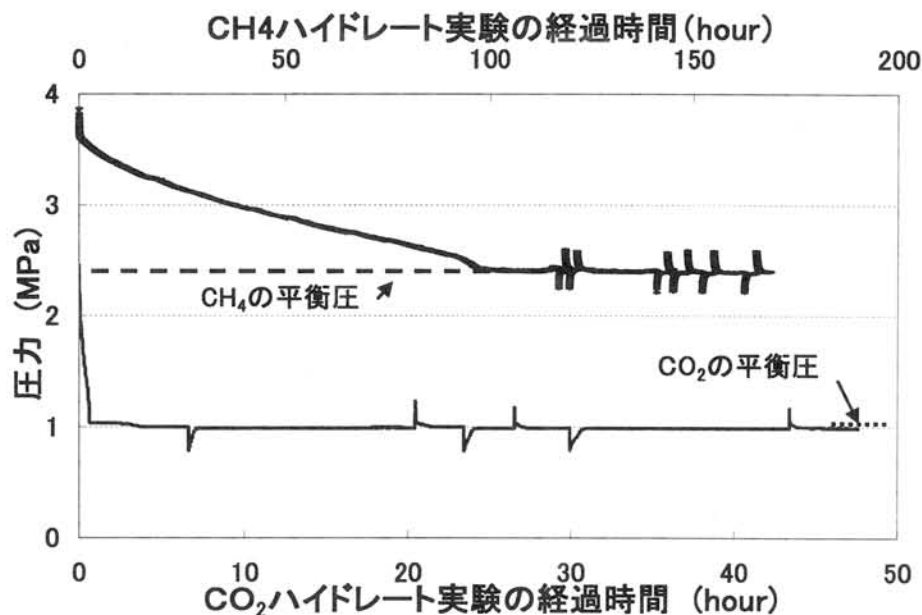


図1 耐圧容器内圧力の時系列変化

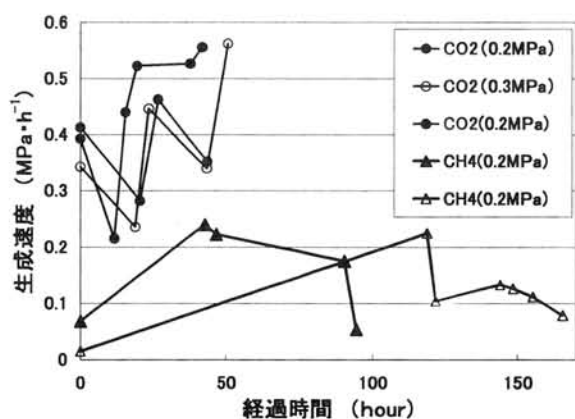


図2 生成速度の時系列変化

(凡例中の数値(MPa) は生成時の圧力変化量)

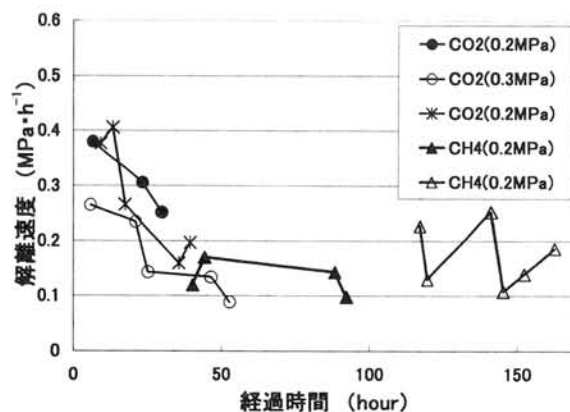


図3 解離速度の時系列変化

(凡例中の数値(MPa) は生成時の圧力変化量)

微小水滴からつくる CO₂ ハイドレートの生成速度

中村 尚央・阿部 清・百武 欣二・八久保 晶弘・庄子 仁（北見工業大学）

Formation rate of CO₂ Hydrate from CO₂ gas and water droplets

Naohisa Nakamura, Kiyoshi Abe, Kinji Hyakutake,
Akihiro Hachikubo and Hitoshi Shoji (Kitami Institute of Technology)

In order to form gas hydrate in a pressure cell efficiently, experiments were conducted in a cold room. Hydrate samples were formed from water droplets by a nozzle of diesel engine and CO₂ gas. Formation rate of CO₂ hydrate increased with temperature in the condition of same degree of supercooling. Beside, contour lines of formation rate were obtained on the pressure-temperature diagram.

1. はじめに

ガスハイドレートは、高圧・低温下において安定に存在し、その体積に対し約百数十倍ものガスを含むことのできる物質である。その特性を活かし、現在、ガスハイドレートを利用した天然ガス輸送や貯蔵、混合ガスの分離などの工業的な利用が検討されている。そのためにはまず、効率的なガスハイドレートの生産が必要となる。

そこで、本研究では効率的なガスハイドレートの生産を目指し、ガス (CO₂) ハイドレートの生成速度が温度・圧力条件によってどのように変化するか調べてみた。

2. 実験装置と実験手順

実験装置概略図を図.1 に示す。この装置は、噴霧装置によって耐圧容器内に霧粒子を発生させ、CO₂ ガスと反応させることによって微小なハイドレート粒子を生成させる。噴霧装置は、ノズル（ディーゼル車のエンジン部噴射ノズル）と手動ポンプから成り、1 回に出る水量は約 0.1 g で、ノズルより発生する霧の粒径サイズは図.2 のような分布を示す。ハイドレートを生成させる耐圧容器（容積 377cm³、円筒型）は、恒温箱内に設置され、内部を観察するために観

察窓が取り付けられている。容器内には試料を取り出しやすくするためのビニールパイプと、水の噴霧によって作られる微小なハイドレート粒子を集めるための金網が噴霧装置のノズルより約 20cm 下方についている。

実験手順は、どの実験も以下のように行った。

- a. 圧力 (2~3MPa) ・温度 (273~277K) の範囲で実験条件を任意に設定し、実験を行う。
- b. 噴霧 (約 2 分間で 20 回) 行った後、8 分間静置するサイクルを計 15 回繰り返す。
- c. 噴霧終了後、余剰水を凍らせるため容器を低温室 (約 -15℃) に静置する。
- d. 1 サイクル中の圧力減少が全てハイドレート生成によるものと仮定して、CO₂ ハイドレートの生成速度を算出する。

3. 結果と考察

算出した CO₂ ハイドレート生成速度と過冷却度との関係を図.3 に示す。過冷却度が大きいほど CO₂ ハイドレート生成速度が大きいのは予期された通りである。これと同時に、同じ CO₂ ハイドレート生成速度の場合、温度が高いほうが過冷却度は低くなる

という結果が得られた。以上のことから、同じ過冷却度でも温度が高いとハイドレート生成速度は速くなるということがわかる。これは、より高い温度になると分子運動が活発になるため、水とガスからハイドレート結晶への分子の反応がより素早く行われるためと考えられる。

次に、圧力・温度をそれぞれ縦軸・横軸にプロットしたのが図4である。図3の結果から、図4のグラフ上では、等生成速度線の傾きが比較的小さいと推定されるが、実際に $273 < T < 278$ (K) の温度領域においては生成速度の温度依存性はそれほど顕著ではない。したがって、図3から得られた結果と調和していることがわかる。

本実験は現在も継続中であり、詳しい実験結果および議論についてはシンポジウム当日に行う予定である。

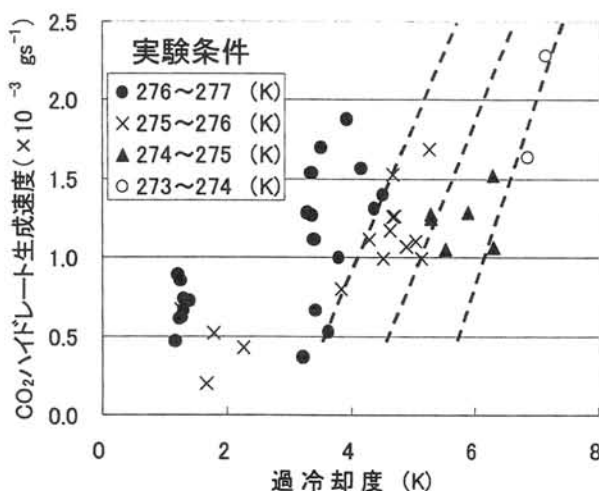


図3 CO₂ハイドレート生成速度と過冷却度

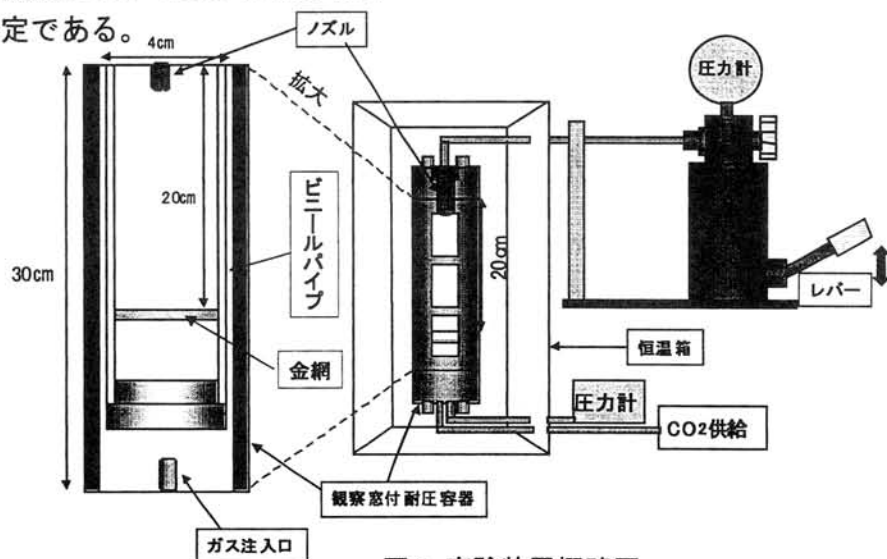


図1 実験装置概略図

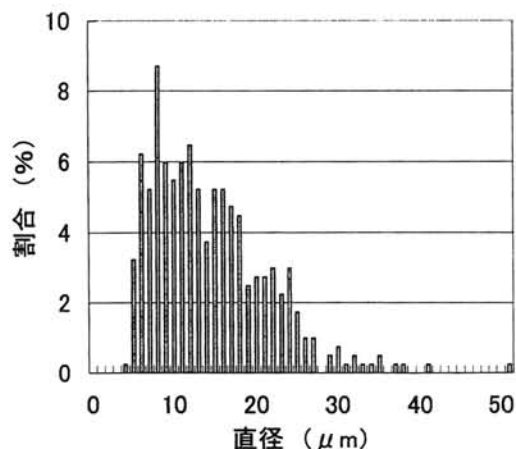


図2 微小水滴の粒径分布

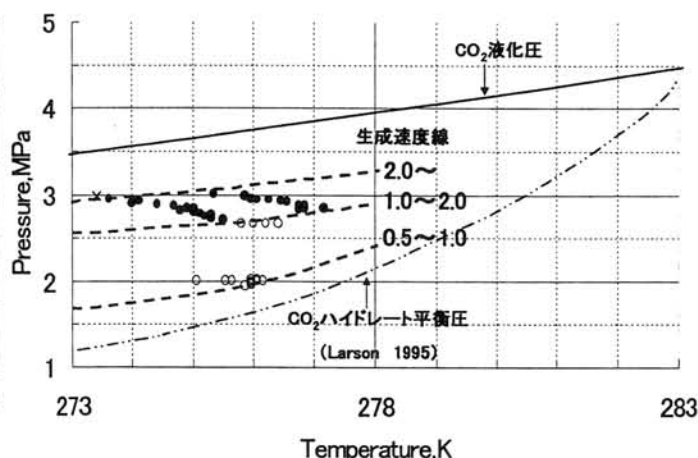


図4 CO₂ハイドレートの生成速度図

CO₂ハイドレートを含む氷の一軸圧縮強度

滝 英紀・宮本 淳・百武 欣二・阿部 清・八久保晶弘・庄子 仁(北見工大)

Uniaxial compression strength of polycrystalline ice including CO₂ hydrate particle

H. Taki, A. Miyamoto, K. Hyakutake, K. Abe, A. Hachikubo, H. Shoji

(Kitami Institute of Technology)

Uniaxial compression strength of polycrystalline ice including CO₂ hydrate particle has been measured to clarify the mechanical properties of hydrate crystal. Samples were formed from pure water and CO₂ gas in a high-pressure cell and cut to a rectangular parallelepiped shape (20mm×20mm×40mm) by a microtome. Uniaxial compression tests were conducted under the condition of strain-rate ($1.9 \times 10^{-7} \sim 1.8 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$) and temperature ($-23.4 \sim -9.9^\circ\text{C}$). The results showed that the maximum stress of the sample including CO₂ hydrate was larger than that of pure ice sample in the range of high strain-rate. It is reasonable to say that the particles of CO₂ hydrate become obstacle for cracks and keep the hardness of the sample.

1、はじめに

メタンハイドレートは、永久凍土の深部や大陸斜面の海底堆積物中などに存在し、メタンガスを大量に含んでいることから、新しいエネルギー資源として注目されている。しかし、一般にメタンハイドレートの基礎物性については、まだ判らないことが多い。

本実験では、メタンハイドレートと同じ結晶構造を持つ CO₂ハイドレートを人工的に合成し、それが多結晶氷中に粒子状に存在する状態で力学試験を行うことにより、試料の一軸圧縮強度のハイドレート濃度依存性を明らかにした。

2、実験方法

2-1. 試料及び圧縮試片の作成方法

ステンレス製小型耐圧容器(内径 40mm、容量 120ml、耐圧 20MPa)に純水を入れる。次に

ドライアイスを加えて容器を密閉し、温度+1℃に保つとドライアイスが気化して内部圧力が上昇し(約5MPa)、CO₂ハイドレートが生成される。その後、低温室(-20℃)に容器を移して余剰水を凍らせ、CO₂ハイドレートを含む氷試料を作成する。なお、初期に加えるドライアイスと純水の比率を変えることによって、氷の中に含まれるハイドレートの体積濃度の異なるさまざまな試料を作成することができる。作成した試料については、バンドソー及びマイクロームにより、縦 20mm、横 20mm、高さ 40mmの直方体状の圧縮試片に整形される。

2-2. 一軸圧縮試験

一軸圧縮試験機(TCM-5kNB-S, ミネベア社製)を用いて、歪速度および温度一定の条件下で CO₂ハイドレートを含む氷に一軸圧縮試験を行い、応力-歪曲線を得る。こ

の得られた応力—歪曲線から最大応力 σ_m (MPa) を求め、氷の中に含まれる CO_2 ハイドレートの体積濃度の違いによって σ_m がどのように変わるかを調べた。歪速度は、 $10^{-4}\text{s}^{-1} \sim 10^{-7}\text{s}^{-1}$ の範囲で変えて実験した。試験温度については $-23.4 \sim -9.9^\circ\text{C}$ の範囲である。また、試験中に発生したクラックの形状や量を調べるために、試験後の試片を薄片にして顕微鏡観察を行った。

3、結果と考察

まず、 CO_2 ハイドレートを含む氷の圧縮試片の密度を測定した結果を図.1 に示す。氷の中に含まれる CO_2 ハイドレートの量が多くなればなるほど、試片の密度も高くなるという傾向が得られた。

図.2 は、各歪速度における最大応力の結果を表している。

低歪速度 (10^{-7}s^{-1}) の一軸圧縮試験では、純氷及び CO_2 ハイドレートを含む氷のどちらの試片においても試験中にクラックは発生しておらず、最大応力に差は見られなかった。すなわち、比較的遅い歪速度の変形では、氷と CO_2 ハイドレート粒子は同じように変形していると考えられる。

しかし、歪速度の速い条件 ($10^{-6} \sim 10^{-4}\text{s}^{-1}$) では、それぞれの試片中のクラック発生は顕著となり、 CO_2 ハイドレートを含んだ氷の最大応力は純氷のそれと較べてバラツキが大きくなった。また、氷の中に含まれる CO_2 ハイドレートの量が多くなると、最大応力はより大きくなる傾向が見られた。

試験後の圧縮試片を薄片にして観察した結果、氷の中に含まれている CO_2 ハイドレート粒子内部ではクラックが発生していなかった。このことから、 CO_2 ハイドレート

粒子がクラック伝播に対する障害物の役割をしており、 CO_2 ハイドレートを含んだ氷試料を硬くしていると考えられる。また、氷の中に含まれる CO_2 ハイドレート粒子の形状及びサイズがそれぞれの圧縮試片によって異なっていた。そのため、 CO_2 ハイドレート粒子の形状やサイズの違いによって、図.2 のように最大応力にバラツキが表れると考えられる。

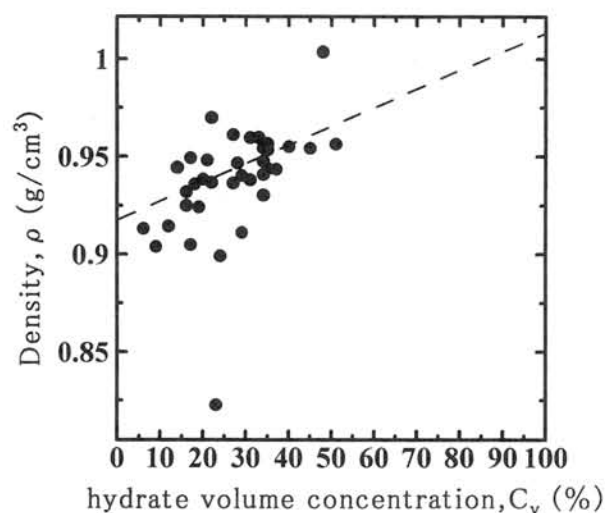


図.1 密度と氷の中に含まれる CO_2 ハイドレートの体積濃度の関係

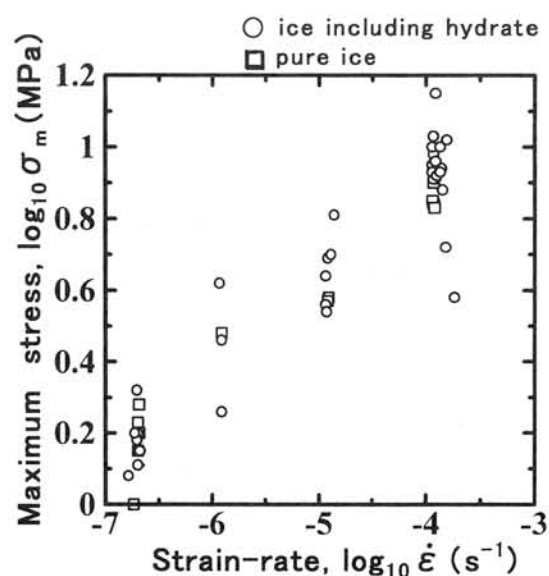


図.2 各歪速度における最大応力の結果

PII. 24

昭和基地における飛雪量の定点観測と管理棟風下領域のスノウドリフト量の関係について

高橋弘樹・国立極地研究所研究系極地設営工学部門

On the total amount of snowdrift in the wake area of the main building related to mass flux of snow at Syowa Station, Antarctica

Hiroki TAKAHASHI・Polar logistics engineering, NATIONAL INSTITUTE OF POLAR RESEARCH

Blowing snow particles were observed continuously at a height of 0.5m on the ground during blizzard with a snow particle counter at Syowa Station. After the blizzard, snowdrift around the buildings in the wake area of the main building was surveyed by using photogrammetry. For the two blizzards that have similar condition of prevailing wind direction and continuing period of blizzard, the integrated amount of snow transport and the total amount of snowdrift were compared and examined.

The integrated amount of snow transport at 0.5m high from the ground was relative to the snowdrift accumulated in the leeward area of the buildings. The ratio of the amount of snow transport to the others for the two blizzards was approximately equal to the ratio of snowdrift accumulation respectively.

1. はじめに

最近、タイプの異なるいくつかの建物が近接して配置された南極昭和基地主要部でスノウドリフト障害が発生した。スノウドリフト堆積状況の極端な例を図 1 に示す。スノウドリフトはブリザードと呼ばれる地吹雪によって発生する。この地吹雪時の飛雪量を地上高度 0.5m の定点で計測し、スノウドリフトの成長が顕著な昭和基地主要部建物風下域でのスノウドリフト形状の測量結果と比較検討した。

2. 観測概要

飛雪粒子計測装置は、第 1 夏期隊員宿舎の風上側に設置した。地上高度 0.5m のセンサー位置を通過する飛雪によって飛雪粒子の粒径とその数を測定し、1 秒間データを収集した。

スノウドリフト形状の測量はステレオ写真測量によって行った。測量写真はブリザード発生の数日前とブリザードの終息後に行い、天測点付近から污水处理棟と倉庫棟の周辺を撮影し、データ処理した。

3. 飛雪量とドリフト堆積量の比較

気象庁の基準によって、視程 1km 未満で風速 10m/s 以上の継続時間が 6 時間以上となった吹雪をブリザードと呼んでいる。観測期間中（2002 年 2 月～2003 年 1 月）に発生したブリザードの内、以下の 2 つのブリザードの結果を比較した。2002 年 4 月 29 日 12 時 40 分～30 日 13 時 10 分（最大風速 29.9m/s（風向 ENE）・最大瞬間風速 38.6m/s（風向 ENE）・8 号）のブリザードと 2002 年 5 月 18 日 3 時 10 分～19 日 3 時 10 分（最大風速 30.3m/s（風向 ENE）・最大瞬間風速 40.4m/s（風向 ENE）・10 号）のブリザードについて、飛雪量観測記録とブリザード後によるスノウドリフト堆積量を比較した。（ ）内の号数は観測期間中のブリザード番号である。ブリザード継続時間はどちらのブリザ

ードも 24 時間程度であった。ドリフト堆積量は、それぞれのブリザード発生前後の雪面高度測量結果の差から求め、図 2 に示した範囲で積分したものである。飛雪量は、各ブリザード期間内の飛雪量に加えて、その前後の弱風域で計測できた地吹雪粒子の量も加算した値である。

それぞれのブリザードでの飛雪粒子の径とその数の計測結果を図 3 に示す。図の縦軸は 2 回のブリザードで計測した粒子数の合計を 100%として相対度数で表したものである。図より飛雪粒子数は、粒径が $141\mu\text{m}$ 以下の範囲では 8 号ブリザードより 10 号ブリザードの方が多いが、粒径が $156\mu\text{m}$ を越えると 10 号ブリザードより 8 号ブリザードの方が多い。粒径の小さい雪が多い場合よりも粒径の大きい雪が多い場合の方が飛雪量は増すため、粒径 $156\mu\text{m}$ 以上の雪粒子数の多い 8 号ブリザードの方が飛雪量は相対的に多い。

それぞれのブリザードの飛雪量とそのブリザード終了後のドリフトの堆積量を 2 つのブリザードについて相対的に比較したものを図 4 に示す。図の縦軸は飛雪量と堆積量のそれぞれを 8 号ブリザードの結果を基準として無次元化したものである。飛雪量は 8 号ブリザード 1.0 に対し 10 号ブリザードで 0.74、ドリフト堆積量は 8 号ブリザード 1.0 に対し 10 号ブリザードで 0.68 となり、それぞれの無次元飛雪量と無次元ドリフト堆積量の減少傾向はほぼ一致した。

4. まとめ

継続時間 24 時間程度の飛雪量の異なる 2 つのブリザードを比べると、それぞれのブリザードでの地上 0.5m の飛雪量に対するドリフトの堆積量の比は、ほぼ同じとなった。また、飛雪量が多いほどそれに伴って形成されるドリフトの堆積量も多くなり、ブリザードの飛雪量とそれによって発生するドリフトの堆積量はほぼ同じ比率で増加する傾向が見られた。



図 1 昭和基地主要部のドリフト堆積状況

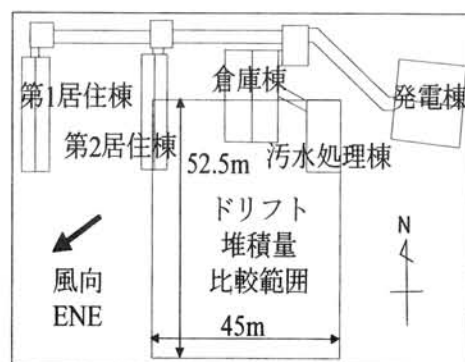


図 2 スノウドリフト堆積量比較範囲

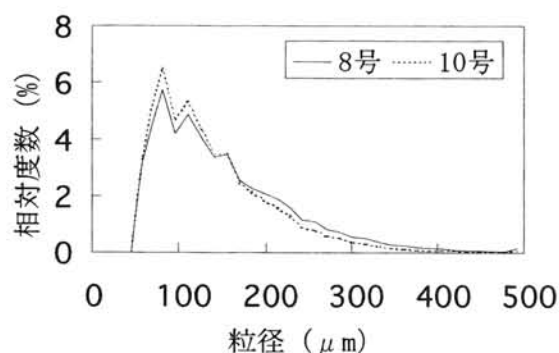


図 3 飛雪粒子の粒径分布

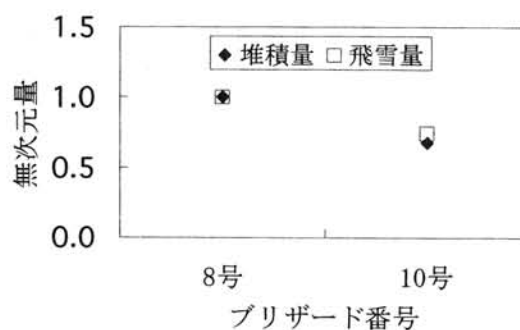


図 4 飛雪量とドリフト堆積量の比較

Drake Passage Oscillation Index (DPOI) from 1952 to 2003, Antarctica

Mikio Naganobu¹ and Kunio Kutsuwada²

¹ National Research Institute of Far Seas Fisheries, Shizuoka, 424-8633 Japan

² School of Marine Science and Technology, Tokai University, Shizuoka, 424-8610 Japan

An assessment of the environmental processes influencing variability in the recruitment and density of Antarctic krill (*Euphausia superba* DANA) is important as variability in krill stocks affects the Antarctic marine ecosystem as a whole. Naganobu *et al.* (1999) had assessed variability in krill recruitment and density with hypothesized environmental factors; strength of westerly winds (westerlies) determined from sea-level pressure differences across the Drake Passage, between Rio Gallegos (51°32'S, 69°17'W), Argentina, and Base Esperanza (63°24'S, 56°59'W), at the tip of the Antarctic Peninsula, sea ice cover and chlorophyll-*a* in the Antarctic Peninsula area during 1982-1998. They found significant correlations between krill recruitment and those factors. The westerlies were especially regarded as a key environmental index. Fluctuations in the westerlies across the Drake Passage were referred to as the Drake Passage Oscillation Index (DPOI).

We planned to extend time series of DPOI using historical data. Naganobu *et al.* had used the time series of the World Surface Meteorological Database (WSMD), Japan Meteorological Agency, from 1982 to 1998. The third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2001) reviewed DPOI as a factor of physical impacts on biology of the Antarctic Ocean and took interest in its variability in the future. Although the new data are added to WSMD, no historical data exist in the database before 1982. We searched the historical data and found the time series since the 1950s until 1988 at the Web sites of the Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC, 2002) for Rio Gallegos and since the 1940s until 1998 at British Antarctic Survey (BAS, 2002) for Esperanza. We combined the WSMD and CDIAC/BAS dataset. Here we calculated a time series of DPOI from January 1952 to May 2003 at this stage. Time series since June 2003 will be processed additionally after obtaining new data.

A time series of DPOI monthly mean from 1952 to 2003 is shown in Figure 1 (upper). The total number of monthly data used from May 1952 to May 2003 was 613. The mean, median, and mode were 14.2, 14.2, and 13.0 hPa, respectively. The maximum, minimum, and range were 30.3, -5.9, and 36.2 hPa, respectively. The standard deviation was 4.1 hPa. A time series of 3-month running mean suggested considerable seasonal variability of climate (Figure 1, middle). A time series of 12-month running mean indicated various year-to-year changes other than seasonal variability (Figure 3, lower). High DPOI periods, not less than 15 hPa, were observed in most of the period before 1964 and only in 1973 and after 1985. Low DPOI periods, less than 15 hPa, persisted for two decades after 1964. Event of extremely low DPOI less than 12 hPa appeared in 1967, 1972, 1980, 1989 and 2000. Time intervals between these low DPOI events are approximately 4 years.

References

- BAS, 2002: Sea level pressure data at Esperanza used in this study are available at the Web site for the British Antarctic Survey, <http://www.antarctica.ac.uk/met/gjma/>
- CDIAC, 2002: Sea level pressure data at Rio Gallegos used in this study are available at the Web site for the Carbon Dioxide Information Analysis Center, <http://cdiac.esd.ornl.gov/>
- IPCC, 2001: Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and vulnerability. Cambridge University Press, 1032pp..
- Japan Meteorological Agency, 2003: World surface meteorological database (1982-2003).
- Naganobu, M., K. Kutsuwada, Y. Sasai, S. Taguchi and V. Siegel, 1999: Relationships between Antarctic krill (*Euphausia superba*) variability and westerly fluctuations and ozone depletion in the Antarctic Peninsula area. *Journal of Geophysical Research*, 104, C9: 20,651- 20,665.
- Naganobu, M. and K. Kutsuwada, 2002: Short note: Time series of Drake Passage Oscillation Index (DPOI) from 1952 to 1988. WG-EMM-02/44.

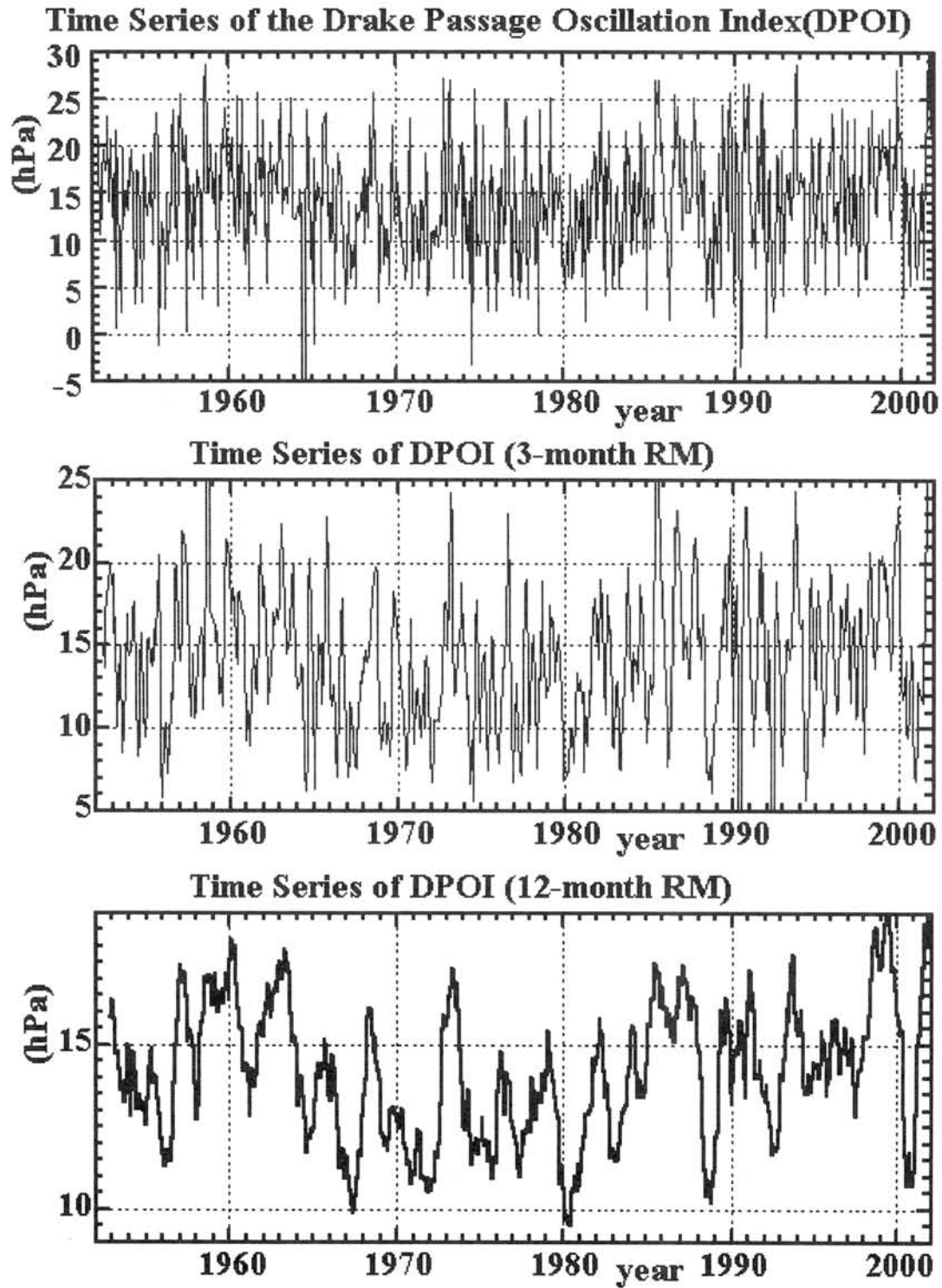


Figure 1: Time series of Drake Passage Oscillation Index (DPOI) which are defined as the sea level pressure differences between Rio Gallegos and Esperanza during 1952-2003: (top) monthly mean, (middle) 3-month running mean, and (bottom) 12-month running mean.

VIII. 2 南大洋インド洋セクターにおける水温・密度逆転の分布

日下朋子*・北出裕二郎**・松山優治**・長島秀樹**

*: 東京水産大学大学院 海洋環境学専攻, **: 東京海洋大学 海洋科学部

Distributions of temperature and density inversions in the Indian sector of Antarctic Ocean

Tomoko Kusaka, Yujiro Kitade, Masaji Matsuyama and Hideki Nagashima

Tokyo University of Marine Science and Technology, Faculty of Marine Science

In order to clarify the distribution of double diffusion and turbulence in the Indian Sector of Antarctic Ocean, Conductivity, Temperature and Depth (CTD) observations were carried out by T/RV Umitaka maru from January 9th to February 7th 2003. Large numbers of temperature inversion distributed above 1000 dbar and most of them were compensated by salinity. Distribution of cold and fresh water above warm and saline water observed in the surface and middle layers indicated high activity of diffusive-type double diffusion. On the other hand, density inversions due to dynamical processes were found near the depth of pycnocline. The distribution of density inversions suggests that the turbulence mixing is caused by the vertical shear of horizontal current in the surface layer.

1. はじめに

海洋における水塊の鉛直混合は、物理的現象の興味だけでなく、物質循環や生物分布など、生物学的見地からも重要である。海洋乱流の水平鉛直スケールは非常に小さく、それに伴う鉛直混合過程を明らかにするには、特殊な微細構造観測機器が必要である。しかし、過酷な環境や広範囲にわたる観測で、このような観測機器を用いることは難しく、できるだけ容易な手法で観測することが望ましい。近年、海洋観測で一般的なCTD観測により、密度逆転を検出し、乱流拡散率を推定する方法が考案されている。本研究では、南大洋インド洋セクターでCTD観測を実施し、密度逆転の分布を調べ、乱流混合の可能性を調べた。

2. 観測

2003年1月9日から2月7日に、東京水産大学(現:東京海洋大学)海鷹丸により、南大洋インド洋セクター(Kerguelen Plateau 北東の2000m等深線に直交する測線、130° 30' Eおよび140° Eに沿った測線の3測線)でCTD観測を実施した。本観測に用いたCTDはSea-Bird社のSBE911plusで、水温、電気伝導度の精度は、それぞれ0.002°C、0.0003S/m(塩分で0.002PSU程度)であり、密度に換算して 10^{-3}kg/m^3 程度の精度がある。

本研究では、船の動揺に伴うCTDの上下動による影響を無くするため、深度が逆転した記録は使用せず、また、

同じ深度の記録は最初の値だけを使用した。さらに、計測誤差を緩和するため、ポテンシャル水温及び塩分の記録にそれぞれ25ポイント(距離1m程度に相当)の移動平均を施し、ポテンシャル密度を算出した。

密度逆転の検出には、Galbraith and Kelley(1996)による手法を用いた。この手法は、密度逆転域における水温・塩分の分布からその逆転が力学的要因によるものかどうかを判定するもので、測器のエラーや二重拡散対流、海面冷却などによる密度逆転を取り除くことができる。

3. 水温逆転・密度逆転の分布

図1に140° Eに沿う測線Cで観測した水温逆転と密度逆転の分布を示す。水温逆転は、主に表層から1000dbar深付近まで広く分布している。このような水温逆転の分布は塩分により補償されているため、大規模な密度逆転を示すものではない。この水温逆転域は低温低塩水が高温高塩水の上に分布し、diffusive型の二重拡散対流が活発なことを示唆しており、表層の冷たい水塊により中層水が冷やされつつあることを示しているだろう。

一方、力学的要因によると判定された密度逆転域はほとんどが表層付近に分布している。これらの分布は表層の躍層と良く一致しており、シア不安定などによって引き起こされた可能性が考えられる。

密度逆転の力学的要因やこの密度逆転による乱流拡散率などの詳細については講演時に報告する。

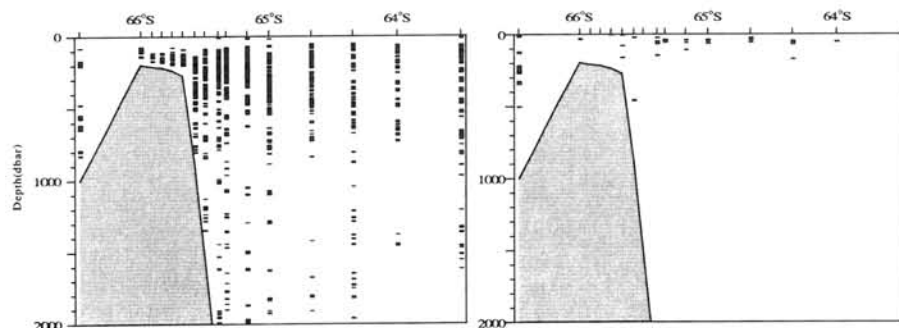


図1. 140° E線における水温逆転(左)と力学的要因によると考えられる密度逆転(右)の分布。図中の太い黒線が逆転位置を示す。

南大洋インド洋セクターにおける深層流の構造について

鳴海吉洋・長島秀樹・北出裕二郎・川村有二・日下朋子
(東京水産大学 海洋環境学科)

Structure of deep current in the Indian sector of Antarctic Ocean

Yoshihiro Narumi, Hideki Nagashima, Yujirou Kitade,
Yuji Kawamura and Tomoko Kusaka

(Tokyo University of fisheries, Department of Ocean Sciences)

The Indian sector of Antarctic Ocean has a narrow continental slope between Antarctic coast and deep depression named the Australian-Antarctic basins. Over this continental slope there is a westward flow which transport is estimated 29SV (Bindoff et al., 2000). To investigate this flow, LADCP and CTD experiments were corrected out at meridional sections along 130° 30' E and 140° E by R/T vessel Umitakamaru in January - February 2003. In this report we mainly analyze the data taken at the section along 130° 30' E.

As measured current direction is not correct because the section locates near the magnetic South Pole, we correct the current direction by using the difference of the heading between gyro and magnetic compass from sea chart.

The results are as follows.

- 1) A strong westward current (10cm/s) is observed near the bottom at the center part of continental shelf (Stn.D8: 65° 10' E).
- 2) From the LADCP data, the zonal transport at the section is estimated to be 16SV westward. The value is 55% of 29SV by Bindoff et al. (2000).
- 3) Geostrophic transport based on hydrocast data becomes equal to that from LADCP data when the reference level is assumed to be 145 or 435dbar. These depths are deeper than the layer 28.6m used by Bindoff et al. (2000).

はじめに

南大洋インド洋セクターには、広大な Australian-Antarctic Basin があり、この海盆と南極大陸との間には、幅約 50km の陸棚斜面が存在する。この陸棚斜面上には、西向きに流れるスロープカレントが存在し、その流量は約 29SV であると見積もられている (Bindoff et al., 2000)。このスロープカレントは、南極海に端を発する深層水の挙動と大きな関わりを持っており、この構造を調べることは、海洋大循環を考える上で重要である。

そこで本研究では、2003 年 1～2 月、東京水産大学、海鷹丸の遠洋航海において、ケルゲレン海台、130° 30' E および 140° E 線に沿った観測地点で LADCP および CTD 観測を実施し、南大洋インド洋セクターにおける陸棚斜面上での流れの構造を明らかにすることを目的とした。

資料と方法

今回の講演では 130° 30' E に沿った観測地点 (D-line) の観測結果を中心に述べる。図 1 にその観測地点を示す。

観測地点は磁南極付近に位置しているため LADCP のマグネットコンパスでは正確な流向を計測できない。そこで、海図を用いて流向の補正を行い、流速の東西・南北成分を求めた。また、LADCP で観測された流れの構造と CTD 観測による密度分布から求めた地衡流計算の結果と比較した。地衡流計算は観測最深層を基準面として行い、LADCP で観測された流れの東西成分から求めた断面の総流量と地衡流計算による断面の総流量が等しくなるように鉛直プロファイルを求め、Reference Layer を調整した。

観測結果および考察

D-line での、水温・塩分・ $\sigma - \theta$ の鉛直断面図を図 2 に示す。50m 以浅は高温・低塩分の軽い水で覆われており、50m 層付近が顕著な密度躍層となっていた。また、Stn.D3 (65° 00') よりも南側では、水温の鉛直勾配が小さかったのに対し、海底が谷となっている Stn.D3～Stn.D5 (64° 50') では高温の水塊が 500m～1000m にあった。Stn.D7 (64° 30') より北側では、高温・高塩分水が 500m を中心に分布していた。また、1000m 以深をみると、水温・塩分の等値線が海底地形に沿って分布しており、陸棚斜面上には最も重い水塊が存在していることがわかった。

次に、D-line で LADCP により観測された流速の東西成分の鉛直断面図を図 3 に示す。まず、顕著な密度躍層となっている 50m 付近では、Stn.D3 において 60cm/s の東向きの強い流れとなっていた。また、Stn.D8 (64° 10') では 500～1000m にかけて東向きの流れが存在しているのに対し、1000m 以深では海底まで西向きの流れとなっていた。この LADCP で観測された Stn.D1～Stn.D10 における東西成分の総流量は、西向きに 16SV であった。

また、CTD 観測で得られた水温・塩分のデータから密度を求め、観測最深層を基準面として地衡流計算を行った。つぎに、LADCP で観測された流れの東西成分から求めた断面の総流量と地衡流計算による断面の総流量が等しくなるように設定して、Reference Layer を調整した。その結果、Reference Layer として 145・435dbar を選んだときに、総流量が一致した。図 4 に LADCP で観測された 435dbar の流速を Reference にして求めた地衡流計算の結果

を鉛直断面図で示す。LADCPで観測された結果と比較すると、Stn.D 8の500～1000mに分布した東向きの流れは実際の測流結果に比べ流速の値が小さかったが、Stn.D 8の陸棚斜面上にある西向きの流れは地衡流計算の結果にも現れていた。

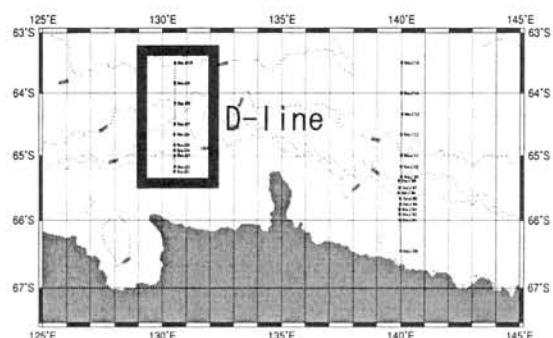


図1 130° 30' Eにおける観測地点 (D-line)

また、Stn.D 1～Stn.D10における東西成分の傾圧・順圧成分の流量を求めたところ、傾圧成分が西向き16SV・順圧成分が0.3SVであり、順圧成分はほとんどないことがわかった。

Bindoff et al.(2000)は、CTDの観測結果から表面をReferenceとして地衡流計算を行い傾圧成分を求め、順圧成分は船底に取り付けられたADCPで計測された28.6mのデータを用いて流れの分布を求めており、その流量を西向き29SVと見積もった。そこで、Bindoff et al.(2000)と同じ方法で今回の観測結果から流量を求めたところ、西向き29SVと見積もられ、実際にLADCPで観測された流量、西向き16SVに比べかなり大きな量となった。従って、この方法を用いると西向きの順圧流量を過大評価する可能性があることがわかった。

今後、他の測線の解析も行い、講演時に発表する予定である。

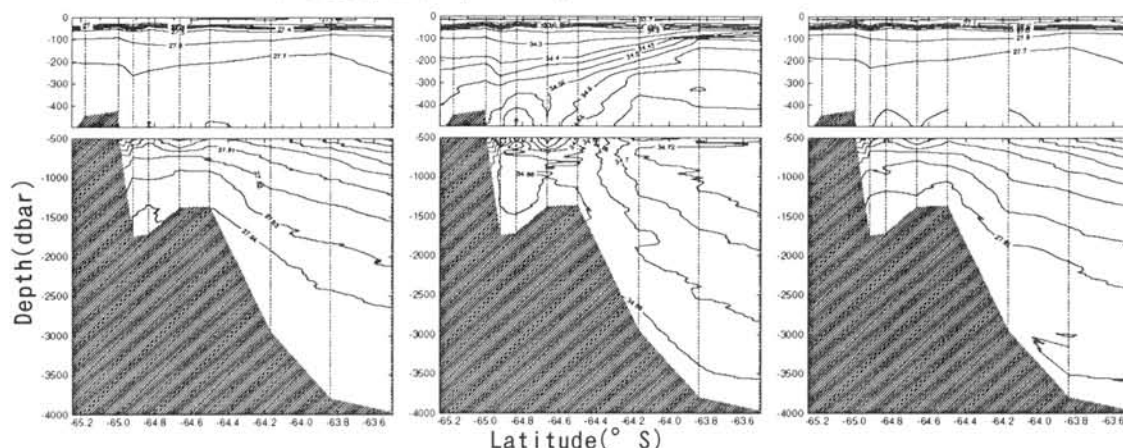


図2 水温・塩分・ $\sigma - \theta$ の鉛直断面図 (左から水温・塩分・ $\sigma - \theta$)

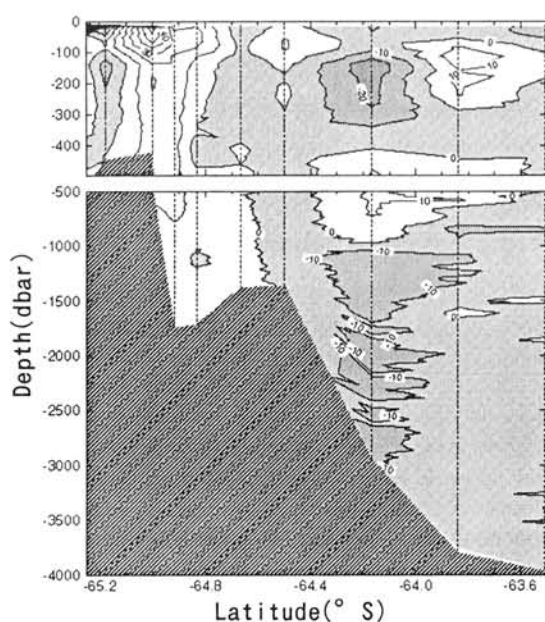


図3 東西成分の流速の鉛直断面図 (西向きの流れに影をつけた)

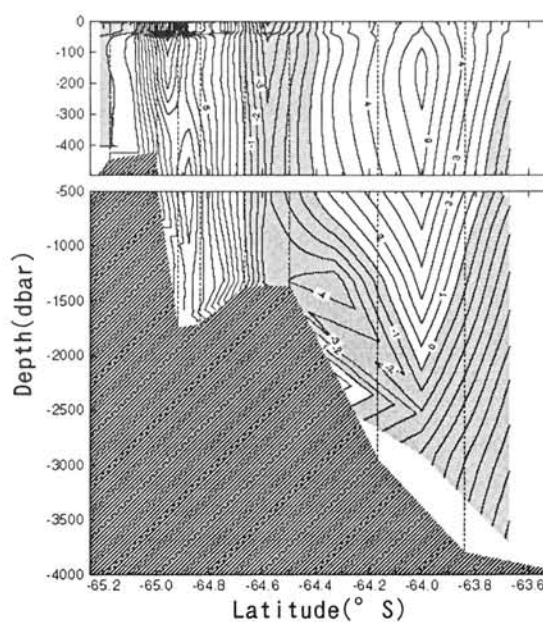


図4 435dbarをreferenceにしたときの地衡流計算で求めた流速の分布 (西向きの流れに影をつけた)

VIII. 4 南極昭和基地海面水位の 1981-2000 年の長期変動

道田 豊¹・館岡篤志²・木下秀樹³・並木正治³・小田巻実³

1 東大海洋研究所 2 東大海洋研究所 (現: NHK徳島放送局) 3 海上保安庁

Long-term changes of the mean sea level at Syowa Station for the period from 1981 to 2000

Yutaka MICHIDA¹, Atsushi TATEOKA², Hideki KINOSHITA³, Masaharu NAMIKI³ and Minoru ODAMAKI³

1 Ocean Research Institute, The University of Tokyo

2 Ocean Research Institute, The University of Tokyo (present position: NHK Tokushima) 3 Japan Coast Guard

Abstract.

The sea level has been observed at Syowa Station, a Japanese Antarctic research station located at Ongul Island (39.6°E, 69.0°S), as a part of activities of Japanese Antarctic Research Expedition (JARE) since 1966. Reliable sea level record has been obtained from 1981 to 2000 and analyzed to make investigation into the long-term change, averaged seasonal change and inter-annual change of mean sea level. After correction of year-to-year variation of the reference level relative to the closest benchmark, a linear falling trend of the mean sea level was estimated at about 1.2 cm/year. At the same time, the amplitude of nodal tide with the period of 18.6 y was calculated at 2.5 cm. The falling rate of the present analysis is bigger than previous estimations calculated from shorter record of the sea level. The averaged profile of seasonal sea level change for the first (second) half of the 20 years record shows a maximum in April to May (in May) and a minimum in October (in January). The difference between the first and second half of the period was caused by the change of observation system. It is concluded that the second half (the new system) was more reliable in observing shorter term variability including seasonal changes.

1. はじめに

南極昭和基地 (南緯 69 度, 東経 39.6 度) では, 1966 年から Japanese Antarctic Research Expedition (JARE) の活動の一環として海面水位の観測が行われている。現在, 観測は東オングル島北西部の「西の浦」で行われており, 水位は水圧式験潮器で測定される。1990 年にストレインゲージ式の験潮器から, より正確な水晶振動子を用いた験潮器に交換された。水位のデータは JARE DATA REPORT シリーズに, 1 時間毎の値が報告されている。本研究では 1981 年から 2000 年までの水位データを解析し, 昭和基地海面水位の長期変動, 季節変動を調べた。

2. データ補正

昭和基地における潮位観測では, 一年ごとに基準面が異なるため, 連続した解析を行うため基準面をそろえた。また 1981-1989 年のストレインゲージ式水圧計は海水圧と大気圧を加えた絶対圧を計測し, 1990-2000 年は水晶振動子を用いた水圧計で気圧の変動を含んだ実際の水の高さに相当する水圧を計測しているため, 1990 年以降のデータには大気圧補正を行った (Tateoka *et al.*, 2003)。

3. 結果

3-1. 海面水位の季節変動

1981-89 年の平均季節変動は 5 月に最大, 1 月に最低を示し変動幅は約 34cm で, 変動の形は非対称的であり, 従来の研究 (Nagata *et al.*, 1993) と同様の結果となった。

それに対し、計測システムが変更された後の 1990-2000 年の平均季節変動は 4, 5 月に最大, 10 月に最小, 変動幅は約 14cm となり, 変動の形はより対称的である Fig. 1 に月平均水位の平均季節変動を示す。両者の違いの原因として, 圧力の変動に対する水位計の反応速度の差が考えられる。

1990-2000 年の季節変動は他の南極観測基地で観測された季節変動と高い相関を示した。また, 1988 年に海面上に設置した GPS で観測された季節変動 (Aoki *et al.*, 2002) は水位計で観測された変動とほぼ同様の傾向であった。これらのことから, 新しいシステムで測定された後半 10 年の季節変動がより現実に近いものと考えられる。

3-2. 海面水位の長期変動

昭和基地における海面水位の長期変化については, Odamaki *et al.*(1991)や Michida *et al.* (1998)などによって, 基地周辺地殻の上昇に起因すると見られる長期低下傾向が報告されている。前者は 1980-87 年のデータで年約 1 cm の低下, 後者は 1981-1995 年のデータで年約 0.5cm の低下と見積もっている。しかし, 水位の長期変動に大きな影響を及ぼす交点潮 (nodal tide, 周期 18.6 年) の寄与に関して, 観測期間が不十分であった。南極半島における長期観測データには振幅 4cm もの交点潮が報告されている (Peterson, 1988)。

本研究では, 1981 年から 2000 年までの 20 年のデータをもとに, 最小二乗法の最適解を共役勾配法によって求め, 交点潮のフェーズと振幅及び線形トレンドを同時に評価した。なお, 前項で述べたとおり, 計測システムの変更に伴って季節変動に大きな差異が見られたが, 新旧システムの同時観測データの比較の結果, 年平均水位には顕著な差が見られなかったことから, 解析には新旧データを通算した時系列を用いた。Fig.2 に年平均水位の長期変動と交点潮を示す。交点潮の振幅は約 2.5cm, 正のピークは 1985 年であった。また, 海面水位は年間約 1.2 cm の割合で低下していることが示された。海面低下の割合は以前の研究に比べて大きい。隆起汀線から推定される数千年スケールの平均隆起速度や, 地殻上昇モデルとの比較においても大きな値である。

4. おわりに

昭和基地における水位観測データについて, 長周期天文潮 (交点潮) の影響を不完全ながら除去するデータセットが得られ, 再解析した結果従来よりも確からしい長期トレンドが得られた。しかし, その値は想定される値よりも大きなものであり, 信頼度についてはさらに検討が必要である。また, 季節変化については, 1990 年以降の新しいシステムで得られたものの方が, それ以前よりも信頼できると考えられるが, 1990 年以前のデータの補正の可能性等に関して検討する必要がある。

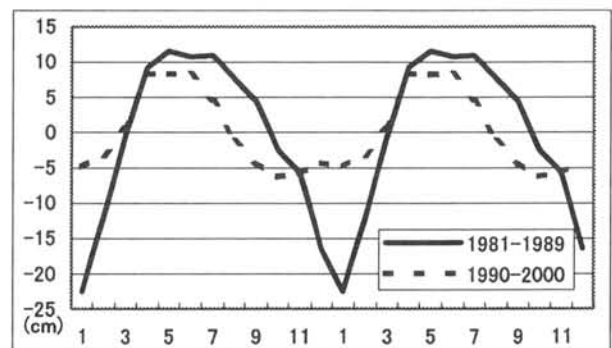


Fig.1 月平均水位の平均季節変動

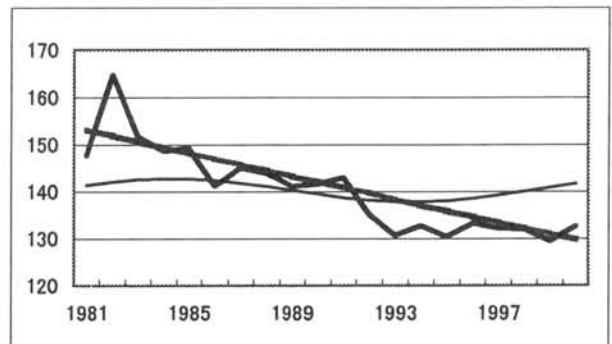


Fig.2 年平均水位の長期変動と交点潮

【文献】

- Aoki, S., *et al.*, *J. Oceanogr.*, 2002.
- Michida, Y. *et al.*, *AGU Fall Meeting*, 1998.
- Nagata, Y., *et al.*, *NIPR Symp. Pol. Met. Glac.*, 1993.
- Odamaki, M., *et al.*, *NIPR Ant. Geosci.*, 1991.
- Peterson, R. G., *J. Geophys. Res.*, 1988.
- Tateoka, A., *et al.*, *OSCORA-18*, 2003.

北極海中央部での漂流ブイによる絶対流速観測

菊地 隆、畠山 清(JAMSTEC)、James H. Morison (Polar Science Center, Applied Physics Laboratory, University of Washington)

Accurate ocean current measurement using ice-drifting buoy in the central Arctic Ocean

Takashi Kikuchi, Kiyoshi Hatakeyama (JAMSTEC) and James H. Morison (Polar Science Center, Applied Physics Laboratory, University of Washington)

Accurate ocean current measurement has been conducting in the central Arctic Ocean using ice-drifting buoy, J-CAD (JAMSTEC Compact Arctic Drifter) since 2000. In order to obtain accurate ocean current, we need to look more carefully into the compass malfunction because of the weakness of the magnetic direction reference near the magnetic pole. In the operation of NPEO 2003, two GPS buoys, 3-axis fluxgate magnetometer, and 2-axis compass mounted on the J-CAD and current meters were used to obtain the heading information and also used to estimate each error. As a result, we obtained absolute velocity of the upper ocean with the accuracy of ~5 degree and ~1.0 cm/s. We also checked the accuracies of ocean current data from J-CAD deployed in 2000 and 2002 compared with sea ice drift motion and found that the compass errors were within 10 degrees. Results obtained from J-CAD 1 (2000), 4 (2002), and 6 (2003) show that topographic controlled current is dominated over the Lomonosov Ridge with about 5.0 cm/s. Also we can see geostrophic current with 2~3 cm/s along the surface salinity front near the Lomonosov Ridge. In the deep Amundsen Basin, current direction was from the Lomonosov Ridge to the Arctic Mid Ocean Ridge in the spring to early summer season. This result is different from the previous notion that was imaged from sea-ice drift and suggested that there is difference of water properties within the Amundsen Basin.

海洋科学技術センターでは、2000 年より NPEO (North Pole Environmental Observatory: 北極点環境観測) プロジェクトとして、米国ワシントン大学などと共同で、北極海中央部からグリーンランド海にかけての漂流ブイによる海洋観測 (水温・塩分・流向流速) を行なってきた。流向・流速計により絶対流速の観測には様々な誤差が含まれるが、北極海のように磁極に近い海域では観測機器の Heading を求めるために取り付けられた磁気コンパスが正しい Heading を測定できないため角度のずれを生じることになる。このような誤差を取り除くため、また誤差を正しく評価するために、2003 年の NPEO 観測においては、GPS や 3 軸磁気コンパスを用いた観測を行なった。その結果として、1.0 cm/sec、5 度の精度で絶対流速を求めることができた。また海氷の漂流データと比較することで、それ以前に取得された流速データのコンパスによるエラーを見積もり、それが 10 度以内であったことを示した。これまでの観測から、Lomonosov 海嶺上では地形に拘束された流れが卓越しており、毎秒約 5.0 cm の速さがあることが分かった。また Lomonosov 海嶺にある淡水フロントに沿った毎秒 2.0 ~ 3.0 cm の地衡流も観測された。深い Amundsen 海盆では、流れの向きが Lomonosov 海嶺から北極中央海嶺に向かっていることが観測された。これは海氷の動きから考えられるこれまでのイメージと異なっており、Amundsen 海盆の中で海水の特徴が一様でない可能性が示唆された。

IX. 1

Features of the methane distribution in the water column of the Okhotsk Sea

Renat Shakirov ^{1,2}, Anatoly Obzhairov ², Nicole Biebow ³, Olga Vereshchagina ²

New Energy Resources Research Center, Kitami Institute of Technology, Kitami, Japan¹
V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia²
Tethys Geoconsulting GmbH, 24148 Kiel, Germany³

The results of the methane distribution studies obtained during the international Russian-German project KOMEX (Kuril-Okhotsk Marine Experiment) to the seasons 1998-2000 in Okhotsk Sea are presented. The study of methane distribution was a part of the complex investigations and gasgeochemical fields during 6 marine and one ice expeditions (subprogram "monitoring of methane") are carried out. On these expeditions the main features of methane distribution in a waters were revealed, basic of which are introduced below.

The most low concentrations of methane are found in central and southern abyssal parts of the sea (depth 1000-3000 м), and the vertical distribution of methane was similar in all stations which were executed in these areas. The average values of methane concentrations for five vertical intervals of a water thickness, which one generally corresponded to vertical hydrological structure of Okhotsk sea water masses, have allowed receiving the chart, which one

we have called as the background methane curve. The maximum of background methane concentrations was discovered in Cool InterLayer (interval about 50-250 м) and did not exceed 90-100 нл/л. Characteristically that the similar methane distribution is obtained by us for near Kuril part of Pacific ocean and both they are in a good line with a most typical form of methane distribution for oceanic waters received Geodekryan with co-authors (1979).

At stations of east and southeast Sakhalin slope (the depths 900-1000 м, st. LV28-40, LV28-2, Ge99-5) are found the heightened concentrations of methane in the upper horizons reaching 150-300 нл/л, and in a lowers water levels background values as a rule are stored.

The steady high methane concentrations observed in all expeditions, as a rule, in a range 500-5000 нл/л, exist on a southern, eastern and north-east shelf of Sakhalin Island (depth <200 м), where they penetrate all thickness of waters and only to a surface are sometimes moderated up

to 90-300 nl/l. The greatest values are discovered in a subbottom layer: on eastern Sakhalin shelf (depth up to 200 m): from Terpeniya Peninsula up to Shmidt Peninsula (distance about 590 kms) at almost all stations meet abnormal maximum ratings 1000-3000 nl/l. For example, on an stations Ut99-9 and Ga28-12 they have compounded 2600 and 3600 nl/l, and at stations of monitoring of a north-east Sakhalin shelf Ga25-11 and Ice99-3 - 2800 nl/l and 700 nl/l accordingly. Thus, at stations of eastern Sakhalin shelf located on depths from 100 up to 200 m in subbottom water layer average methane concentrations exceed average values for stations on depths up to 100 m in 1,5-2 times. On shallow-water eastern shelf of Sakhalin the local bubble vents of natural gas detecting by echosounder like anomalies such as "flare" can be originated. For example, discovery of "Nicole Flare" (depth 40 m, 51° N) smaller, but similar under the form of Flares in a north-east Sakhalin slope.

On eastern Sakhalin slope on a intermediate water levels 300-500 m the peaks of high concentrations of methane about 3000-4000 nl/l are formed. Their originating, probably, is connected to a dynamic water mod of this area, because in a subbottom and subsurface water horizons at these area methane concentrations often is much lower, than on counter levels.

Most strong abnormal fields of methane with maximum ratings 13000 nl/l and 23000 nl/l are formed on a north-east Sakhalin slope on a depth 300-700 m on above a field of gashydrates, which are founded in the sediments (Biebow & Hutten, 1999). Characteristic the methane distribution on a north-east Sakhalin slope points that the methane is venting from this area on a north-east Sakhalin Slope locally, on a small square. The maximal methane concentrations in this area are very often discovered on intermediate levels, that, probably, points the existence of an additional methane sources to the north of this place according to the stream schema and geological structure of the study region.

Geodekyan A.A., Trotsyuk V.Ya., Avilov V.I., Verkhovskaya Z.I. Hydrocarbon gases. Chemistry of ocean water / Edited by O.K. Bordovskiy. Moscow, Oceanology, 1979. P. 164-176.

Biebow, N. and E. Huetten (eds.) KOMEX Cruise Reports I & II, GEOMAR Report 82, 1999. 188 pp and 85 Appendix

IX. 2

流水レーダー画像を用いた北海道沿岸の海水の動きの解析

木村 詞明・白澤 邦男 (北海道大学 低温科学研究所)

Sea ice motion off the coast of Hokkaido derived from sea-ice radar image

Noriaki KIMURA and Kunio SHIRASAWA (Inst. Low Temp. Sci., Hokkaido Univ.)

Sea ice motion fields off the coast of Hokkaido are derived from sea-ice radar images. The ice motion estimates were made by tracking features in the radar image spaced at intervals of 20-60 minuits, based on the maximum cross-correlation method. The resulting displacement vectors are filtered using the maximum cross-correlation coefficient, the sharpness of the correlation peak, and consistency with the displacement vectors in the neighborhood. After the filtering, we made up an hourly ice motion dataset for a 1.5×1.5 km grid. In the ice motion fields, it is clear that the dominant features of the ice motion are attributable to the wind speed, tide, coastal ocean current, and the ocean eddy.

1. はじめに

人工衛星による観測データが広く利用されるようになり、広いスケールでの海水変動の実態については多くのことが明らかになってきた。しかし、数十 km より細かいスケールでの海水変動については不明な点が多い。細かい空間スケールでの海水の動きを把握することは、風速や海流の変化への海水の応答のしかたを解明するため、また海水の力学的な特性を知るために非常に重要な課題である。

北海道大学の流水レーダーは枝幸、紋別、網走の三カ所に設置されており、三十余年にわたり冬期の海水観測を行っている。分解能が比較的良く、衛星画像に比べて短い時間間隔での観測が可能な事から、その観測画像は細かいスケールでの海水の動きの解析に非常に適している。

2. 海水漂流速度データセットの作成

解析には北大流水レーダー紋別局による観測画像を用いた。観測範囲は半径約 60km で空間分解能は約 150m である。紋別局のレーダーでは、2000 年と 2003 年にそれぞれ 15 分および 10 分間隔での観測を実施した。今回はその観測画像を用いて海水漂流速度の導出を行った。計算は面相関法を用いて行った。これは、ある窓画像内の輝度分布と最も相関の高い場所を別の時刻の画像内から算出する方法で、計算には 6×6 ピクセル (約 1.0×1.0 km) から 8×8 ピクセル (約 1.5×1.5 km) の大きさの窓画像を用いた。得られた海水の動きに対して、相関のピークの点での相関係数、ピークの鋭さ、周囲の結果との整合性などを用いてフィルタリングを行った。

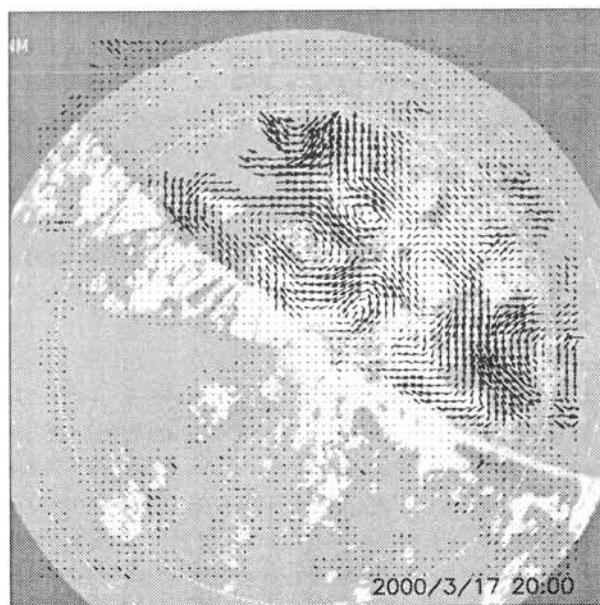
まず、レーダー画像から海水漂流速度を導出する際の画像の時間間隔について検討した結果、間隔が長くなるほど計算は困難になり、画像の時間間隔が 1 時間を越えると計算できる割合が急速に低くなることが分かった。一方、時間間隔が短すぎると得られる漂流速度の精度が低くなる。これらを考慮した上で、20 分間隔から 60 分間隔の画像から計算され

た結果を用いて 1 時間平均の漂流速度を作成した。その結果、海水がある場所ではほとんど欠損の無い漂流速度場データセットを作成することができた。

3. 漂流速度場に見られる特徴

おおまかな海水の動きは、風速の変化と潮汐の影響を強く受けていた。沿岸には南東方向に向かう沿岸流が見られたが、常に存在するわけではなくその強さには変化が見られた。また、直径十数 km 程度の規模の海洋渦が顕著に見られることがあった。これらの渦の動きはそれを含む海水場の動く速さとは一致していなかった。その他、完全に海水で埋めつくされた状態になった時には、海水が非常に動きにくい状態になることなどが明らかになった。

* 流水レーダーでの観測にご尽力くださった、北大低温科学研究所附属流水研究施設の技官の方々に感謝します。



図：得られた海水漂流速度場の例

IX. 3 オホーツク海南部の氷厚発達過程について

豊田威信、河村俊行、大島慶一郎（北大低温研）、
下田春人（海上技術安全研究所）若土正暁（北大低温研）

A possible ice thickening process model for the sea ice in the southern Sea of Okhotsk

T.Toyota, T.Kawamura, K.I.Ohshima (Hokkaido Univ. ILTS)

H.Shimoda (National Maritime Research Institute), M.Wakatsuchi (Hokkaido Univ. ILTS)

Based on the ice thickness distribution and ice sample data, a possible ice thickening process is proposed for the sea ice in the southern Sea of Okhotsk. The ice thickness data were obtained using a video monitoring system for the period of 1991 to 2000, while about fifty ice samples were collected for physical and chemical analysis from 1996 to 2000. The observational results show that the ice thickness almost fits the Poisson Distribution, and that frazil ice occupies 64% of the total ice thickness and most of the ice samples have layered structures whose unit thickness averages 5 to 10 cm. In this study, it is shown that these characteristics can be explained well by a probabilistic rafting model.

はじめに 気候変動に伴う海水域の消長に直接関わるのは極域海水域の氷縁に位置する季節海水域であり、ここにおける海水の成長過程を気候モデルの中で適切にパラメタライズすることは将来の気候予測を行う上で重要な課題である。しかしながら、従来数値海水モデルで取り扱われてきた氷厚発達過程はHibler(1979)に代表されるように主として氷厚の厚い多年氷を対象としており、この手法は比較的薄い海水が卓越する季節海水域に必ずしも適応可能とは限らない。そもそも、季節海水域の氷厚発達過程に関しては観測も理解も十分ではない状況にある。そこで、従来オホーツク海南部で行われてきた氷厚計測や海水サンプルの解析結果をもとに、この海域を一つの季節海水域のモデル海域として氷厚発達過程のモデルを考察することを試みた。

データ 巡視船「そうや」を用いてオホーツク海南部で取得した氷厚データおよび海水サンプルを用いた。氷厚データは海上安全技術研究所によって観測された1991～94年および96年、北大低温研による1996～2000年のデータであり、いずれの年も観測は海水結氷期にあたる1月下旬から2月にかけて行われた。氷厚の計測方法は、船側に下向きに取り付けたビデオカメラでモニターした画像から、割れて側面を上にした氷盤を対象に一つ一つ計測することにより求めた。海水

サンプルは北大低温研によって1996～2000年にかけて採取されたおよそ50個のyoung iceおよびfirst-year iceであり、各サンプルの結晶構造、塩分、密度、 $\delta^{18}\text{O}$ の鉛直プロファイルを解析した。

解析結果 オホーツク海南部の海水の氷厚分布は、ある厚さ以上では氷厚の増加とともに指数関数的に減少する傾向がある（下田他,1996）が、全体としてはほぼポアソン分布に従うことが示された（豊田と河村,2002）（図1）。一方、海水サンプルの解析結果からは、一つの氷盤は何枚もの海水（平均層厚8.2cm）が積み重なって形成されている様相が明らかになった。また、熱収支解析からはこの海域は低緯度に位置するために海水成長量は少ないことが見積もられた（Toyota and Wakatsuchi, 2001）。すなわち、海水は穏やかな状況で熱力学的に下面結氷して成長するというよりも、比較的薄い氷が風や波の作用を受けてraftingによって互いに重なり合うことにより氷厚が成長しているというのがこの海域の平均的な姿と考えられる。そこで、この海域の特徴的な氷厚分布を与えているのはrafting過程の特性であるとの想定に基づき、シンプルな確率過程モデルを設定して氷厚分布を計算し、観測との比較を行うことにより、その妥当性を調べた。

モデル概要 指数関数的に氷厚の存在頻度が減少しているという事実から、ある基本単位 (ΔH) の厚さの氷盤が **rafting event** 毎に一定の割合で各々の氷厚のカテゴリーに積み重なって、一つ上の氷厚カテゴリーに移行するという確率過程モデルを設定した(図2)。現象的には、**rafting** によってできた開水面に新たに ΔH の厚さを持つ氷盤が生成し、次の **rafting event** でこの氷盤が各氷厚カテゴリーに積み重なって氷厚が全体として増加する、と説明される。このモデルに従えば、氷厚分布は **rafting event** の回数 (N) と積み重なる領域の割合 (P) を変数とする二項分布に従うことが導出される(表)。N が十分に大きく、P が小さい場合にはこの分布はポアソン分布になることが知られており、今ケースに適用できる。従って実際の氷厚分布が計算されたポアソン分布にどの程度合致するか

を検証することにより、この概念モデルの有効性を調べることにした。

結果 実際の海氷の氷厚分布について検証した結果、各年とも、 ΔH を適当に設定すれば計算されるポアソン分布に良く従うことが分かった(図1)。ここで ΔH が一つの **tuning parameter** となるが、海氷サンプルの解析結果から得られた 5~10cm の値とほぼ一致し、また、熱力学的に見積もられる海氷の成長量とも比較的良く合致した。このモデルは Lange et al. (1989) が提唱した「**pancake cycle**」の考え方とも通ずると思われる。

謝辞 観測にあたっては海上保安庁巡視船「そうや」の乗組員の方々、氷厚データの入手に関しては海上技術安全研究所の宇都正太郎氏のお世話になりました。

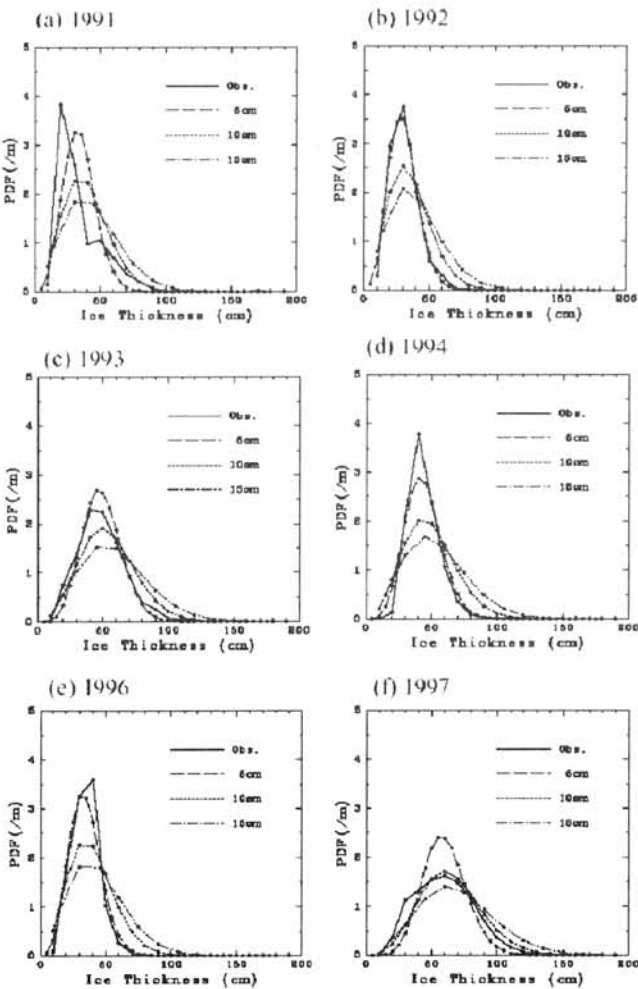


図1. 各年(1991~97年)の氷厚分布(実線)および 5,10,15 cm の ΔH に対応するポアソン分布(破線)(1998~2000 年は省略)

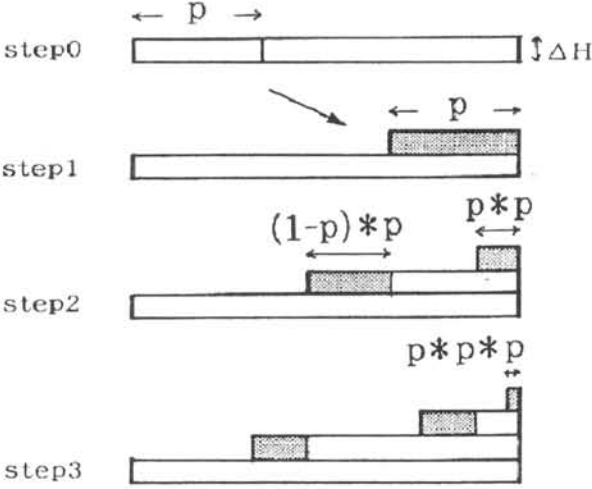


図2. Rafting の確率過程モデル

表. Rafting eventsに伴う氷厚カテゴリーの変化

Rafting events N	氷厚カテゴリー				
	1	2	3	4	5
0	1	0	0	0	0
1	$1-p$	p	0	0	0
2	$(1-p)^2$	$2p(1-p)$	p^2	0	0
3	$(1-p)^3$	$3p(1-p)^2$	$3p^2(1-p)$	p^3	0
4	$(1-p)^4$	$4p(1-p)^3$	$6p^2(1-p)^2$	$4p^3(1-p)$	p^4

IX. 4 積雪および融解・再凍結による薄氷の熱的性質の変化

小嶋真輔・榎本浩之（北見工業大学）

Change of thermal properties of thin sea ice by snow cover and re-freezing

Shinsuke Kojima, Hiroyuki Enomoto (Kitami Institute of Technology)

We estimated thermal conductivity and heat flux by water tank experiment to determine the quantity of thermal properties of snow covered thin sea ice. The experiment was made by cycle of freezing-melting processes, so this study introduces recurred data of sea ice in freezing period. As main results, we obtained that heat flux of re-freezing sea ice become large value due to changing snow-ice condition on sea ice. Then, we confirmed big temperature difference between water and snow-sea ice interface. The results suggest that snow-ice structure was hollowed by influence of melting, and the phenomenon will be key to consider ocean-sea ice-atmosphere interaction.

1. はじめに

オホーツク海南部に位置する北海道沿岸域では、昼夜の気温差により海氷成長期において融解・再凍結が短周期でくり返されている。一方、北海道沿岸域に限らず、オホーツク海北部および南極沿岸などに見られるポリニア域では、常に薄い海氷が生成されており、多量の熱が大気中へ放出されている。

このような融解・再凍結過程を経験した積雪を伴った海氷の熱的性質、および海氷生成時に発生する熱量を定量的に求めることは、熱収支モデルの精度向上へ寄与するなど重要であり、情報提供が求められている。

そこで、本研究では水槽を用いた室内実験により、積雪を伴った薄い海氷の凍結・融解くり返し実験を行った。

2. 実験方法

塩分濃度 32.6‰の NaCl 水溶液を入れた水槽を低温室に置き、氷厚 5cm の時、密度 0.27 g cm^{-3} の雪を 10cm のせ、成長を続けさせた。その後、凍結・融解を 2 回くり返した。低温室の設定温度は、成長時 -20°C ($-21 \sim -15^{\circ}\text{C}$)、融解時は $+6^{\circ}\text{C}$ ($+4 \sim +9^{\circ}\text{C}$) とした。

3. 熱フラックスと熱伝導率の計算方法

熱フラックスは式 (1) により求めた。

$$\Delta Q = \frac{L_i \times \rho_i \times \Delta h_i}{\Delta t} \quad (1)$$

ここで、 ΔQ は熱フラックス (W m^{-2})、 L_i は海氷の融解潜熱 (300 kJ kg^{-1})、 ρ_i は海氷の密度 (910 kg m^{-3})、 Δh_i (m) は、 Δt (秒) で成長した氷厚増加分である。

式 (1) によって求めた熱フラックス ΔQ を式 (2) に代入し、熱伝導率を求めた。

$$\Delta Q = \kappa \frac{\Delta T}{\Delta I} \quad (2)$$

ここで、 κ は海氷の熱伝導率 ($\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$)、 ΔT は温度差 ($^{\circ}\text{C}$)、 ΔI は氷厚 (m) である。

本研究では、海氷部、積雪部（ゆき氷部）、海氷とゆき氷を合わせた全体部分の、計 3 通りの熱伝導率を求めた。このとき、海氷成長面で発生した熱が、海氷およびゆき氷内部を定常状態で流れると仮定し、ゆき氷部およびゆき氷と海氷を合わせた全体の熱伝導率を求めた。

4. 実験結果と考察

熱フラックス

1 回目の成長段階において、氷厚 7.5cm から 8.5cm に成長する間、海氷底面での成長潜熱は 45.0 W m^{-2} であった。再凍結段階では、氷厚 10cm から 11cm に成長する間、 40.3 W m^{-2} 、11cm から 12cm の間では 47.0 W m^{-2} の潜熱が発生した。

再凍結段階において、成長潜熱の値が大きくなっている傾向が見られる。これは、再凍結前の融解によって海氷上の積雪が融け、内部の空洞化が起こったことにより、水温と積雪-海氷境界温度に大きな温度差が生まれ、海氷成長速度が大きくなったためであると考えられる。

小野ら (1986) のサロマ湖での観測結果によると、氷厚 8.5cm の裸氷における成長潜熱は 40 W m^{-2} とされている。本研究では積雪で覆われた海氷であり、また室内実験であるため、小野らの観測結果と単純に比較することはできないが、本研究における氷厚 8.5cm の段階では、積雪はすでに氷化し、断熱効果を失っていたため、本研究で得られた 45 W m^{-2} という値は妥当であると考えられる。

熱伝導率

a) 海氷の熱伝導率

氷厚が 0cm から 5cm に増加した結氷初期段階における海氷の熱伝導率は $3.52 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ であった。氷厚 7.5cm から 8.5cm の間では、 $1.25 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ という結果が得られた。再凍結段階では、11cm から 12cm の間、 $1.52 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ であった。

結氷初期段階の海氷は、内部に空隙やブラインを多く含み、体積ばかりが増加した見かけ上の氷厚になっている。故に、成長速度が大きく見積もられ、熱伝導率は大きな値となった。しかしこの現象は一般的であり、沿岸ポリニアなどの薄氷域では常に起こっていると考えられる。なお、話が前後するが、このときの海氷底面で発生した成長潜熱は約 219 W m^{-2} と、非常に大きな値であった。

b) 積雪（ゆき氷）の熱伝導率

積雪直後の雪の熱伝導率は、およそ $0.2 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ であった。その後積雪が変質し、完全にゆき氷となった時の熱伝導率は $1.16 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ であった。再凍結の初期段階では、 $0.81 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ であったが、時間の経過と共に $1.20 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ まで大きくなった。これは、一度融解によって内部が空洞化したのが、融け水の再凍結によって再び密度が上昇したためであると考えられる。このときの密度変化については、2003 年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集に掲載された筆者のページを参照されたい。

c) 海氷とゆき氷を合わせた熱伝導率

積雪が完全に氷化した氷厚 8.5cm での熱伝導率は $1.20 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ であった。このとき、ゆき氷部は 9cm であった。再凍結時ではゆき氷部は 8cm になった。厚さでは 1cm の変化しかないが、内部構造の変化は著しく、これはフラックスやゆき氷の熱伝導率の計算結果からも示唆される。また、このときの海氷とゆき氷を合わせた熱伝導率は $1.25 \pm 0.2 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ 程度であり、海氷の値とゆき氷の値の間に収まった。

5. まとめ

- ・ 海氷成長初期段階における海氷は、ブラインや空隙を多く含むため、見かけの上の厚さとして扱う必要がある。故に、熱フラックス、熱伝導率共に大きな値が求められた。
- ・ 海氷上の積雪（ゆき氷）状態は、海氷成長に伴って発生する熱フラックスに大きく寄与する。
- ・ 積雪および融解-再凍結の影響を受けた薄氷の熱フラックスおよび熱伝導率を定量的に求めることができた。

謝辞： 本研究で使用した水槽は、北大低温研の河村俊行先生よりお借り致しました。

参考文献

- ・ 小野延雄・牛尾収輝, 1986: 薄い海氷を通しての海洋熱流量. 低温科学, 物理篇, 45, 37-43.

IX. 5 南極海におけるアイスバンド構造と大気場の関係

石田邦光（鳥羽商船高専），大島慶一郎（北大低温研）

A relationship between atmospheric conditions and structures of ice bands in the Antarctic Ocean

Kunimitsu ISHIDA (Toba National College of Maritime Technology)

Kay I. OHSHIMA (Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University)

A relationship between structures of ice bands and atmospheric conditions is examined by using ECMWF data and MOS-1/1b MESSR images received at Syowa Station, Antarctica. It is suggested that the width and spacing of ice bands are correlated with atmospheric conditions averaged over several days and are influenced more strongly by the zonal wind vectors than the meridional ones.

1. はじめに

南極海の海水分布は、季節的・海域的に極めて大きな変動を見せる。そして、この季節海水域の中でも氷縁域では氷盤のスケール変動にとどまらず、渦やプリュームそしてアイス・バンドなどの現象が複雑に絡み合った海水分布が見られ、それらは短いタイムスケールで変動している (Yamanouchi and Seko, 1992; Fukamachi et al., 1998)。そして、この氷縁域において形成されるアイスバンド (Ice Bands) と呼ばれる構造は、ときには数 100 ~ 1000km にもわたって海水野内部に存在していることが分かってきた (Ishida et al., 1999)。

そこで本研究は、南極昭和基地沖に形成されるアイスバンドの変動と風や気温などの変動との関係を調べ、アイスバンド構造の変動はなにによってコントロールされているかを考察する。

2. アイスバンドについて

アイスバンドとは、数 m ~ 20m 程度の大きさの氷盤が集まって一つの帯状の集団を作り、それらがある間隔をもって規則的に連なった構造をしている (図 1)。グリーンランド海やベーリング海などの北極周辺海域においては、過去にいくつかの研究がなされており、バンドを形成する氷盤のスケールやバンドのスケールなどについてはいくつかの報告がある (Muench and Charnell, 1977; Martin et al.,

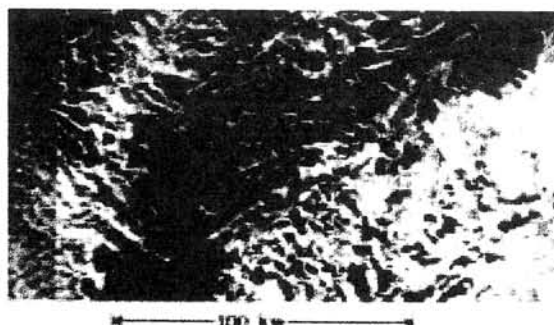


図 1 MESSRによるアイスバンド画像例

1983; Johannessen et al., 1992)。また、アイスバンドの形成メカニズムについてもいくつかの研究がある (例えば Wadhams, 1983; Muench et al., 1983)。しかしながら、南極海については、その存在が以前から報告されているものの、観測の困難さから具体的な研究はほとんどなされておらず、Ishida et al., (1999) によってアイスバンド域の広がりや季節的なスケール変動に関する報告がある他は、末武 (2000) による海水密度とアイスバンドのスケールとの関係について調べた報告があるくらいである。

3. 使用データ

アイスバンドのバンド幅、バンド間隔、バンドの長軸方向の計測には、昭和基地で受信された MOS-1/1b MESSR (分解能 50m) のクイック・ルック (Q/L) 画像を使用した。また、アイスバンドの構造変化が海水密度にどのように反映しているかを見るために、海水密度も算出した。海水密度の算出には氷縁域で精度の高い Bootstrap アルゴリズムを使った (Comiso and Steffen, 2001)。気象データとしては、ECMWF の客観解析データを用いた。なお、解析期間は 1989 年 ~ 1993 年である。

計測したアイスバンドが、アイスバンドの発達過程の中のどの時点のものであるかは MOS-1/1b の回帰日数が 17 日と長いことから、知ることはできない。しかしながら、アイスバンドが確認できた日 (観測日) の計測値は、その日を起点としたそれまでの気象条件が反映していると考えられるので、アイスバンドが確認できた海域の 10 日前までの気象データを抽出し、解析に使用した。

4. 解析結果

アイスバンドの形成メカニズムとして、その可能性が示唆されるのはこれまでの解析から、風によって生じる波の応力によって氷盤が集まりアイスバンドを形成するという「Wave radiation theory」 (Wadhams, 1983) である (Ishida et al., 1999; 末武, 2000)。このことが

ら、アイスバンドの形成には海上風が大きく関与している。そこで、海上風とバンド幅、バンド間隔およびバンドの長軸方向との相関を調べた。観測日の海上風とバンドの各計測値との相関はあまりなかった。そこで、観測日の何日前までの平均風速との相関が高いかを調べた。その結果、3日前まで（観測日を含めた計4日間）の平均風速との相関が、バンド幅、バンド間隔ともに高かった。そこで、他の気象データについても、この4日間の平均値を使用することにした。平均風速とバンド幅およびバンド間隔の関係では、バンド幅よりバンド間隔の方が高い相関を示した（図2）。

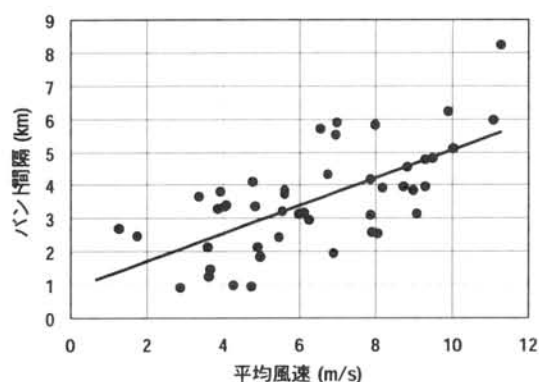


図2 バンド間隔と風の関係

バンドの長軸方向と風向との偏差については、観測日の偏差にはばらつきが大きく、風向の右側 20 ~ 80 度に多くが分布している。しかしながら、この偏差についても4日間平均で見ると、分散は小さく、80 ~ 90 度が一番多く、60 ~ 100 度に集中していることが分かった（図3）。この結果は、Wave radiation theory を立証する重要な要素の一つである。

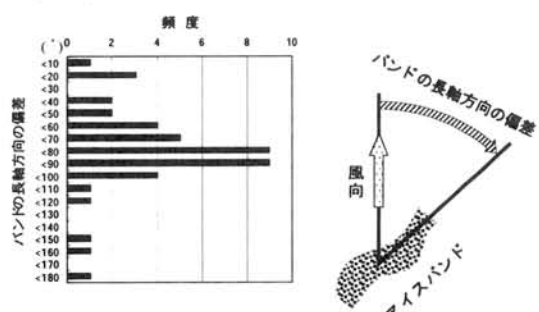


図3 バンドの長軸方向と風向の偏差

また、4日間の平均値で検討してみるとバンド幅、バンド間隔ともに、気温、風速の二乗、風速×気温の各要素と高い相関が見られ、これらのことから、アイスバンドのバンド幅、バンド間隔は数日間の平均的な大気場によってコントロールされている可能性が示唆

された。

また、アイスバンドの形成には沖出しの風、つまり南極では基本的に南北成分の風が効いてくるはずであると考えられていたが、今回の解析ではバンドの幅、間隔および長軸方向についても、南北方向成分よりも東西方向成分の方が比較的高い相関を得た。

参考文献

- Comiso, J. C. and K. Steffen (2001): Studies of Antarctic sea ice concentrations from satellite data and their applications, *J. Geophys. Res.*, 106, 31361-31385.
- Fukamachi, Y., K.I. Ohshima and T. Ishikawa (1998): Mesoscale ice features in the summer marginal ice zone off East Queen Maud Land observed in NOAA AVHRR imagery. p. 317-323, In *Antarctic Physical Processes, Interactions and Variability*, *Antarct. Res. Ser.*, vol. 74, ed. by M. Jeffries, AGU, Washington, DC.
- Ishida, K., K. I. Ohshima, T. Yamanouchi, and H. Kanzawa (1999): MOS-1/1b MESSR observation of the Antarctic Sea ice: ice bands and ice streamers, *J. of Oceanogr.*, 55, 417-426.
- Johannessen, O.M., W.J. Campbell, R. Shuchman, S. Sandven, P. Gloersen, J.A. Johannessen, E.G. Josberger and P.M. Haugan (1992): Microwave study programs of air-ice-ocean interactive processes in the seasonal ice zone of the Greenland and Barents Seas. p. 261-289, In *Microwave Remote Sensing of Sea Ice*, *Geophys. Monogr. Ser.*, Vol. 68, ed. by F.D. Carsey, AGU, Washington, DC.
- Martin, S., P. Kauffman and C. Parkinson (1983): The movement and decay of ice edge bands in the winter Bering Sea. *J. Geophys. Res.*, 88, 2803-2812.
- Muench, R.D. and R.L. Charnell (1977): Observations of medium-scale features along the seasonal ice edge in the Bering Sea. *J. Phys. Oceanogr.*, 7, 602-607.
- Muench, R. D., P. H. LeBlond, and L. E. Hachmeister (1983): On some possible interactions between internal waves and sea ice in the marginal ice zone, *J. Geophys. Res.*, 88, 2819-2826.
- 末武秀己 (2000): 夏季南極海におけるアイスバンド構造, 北海道大学大学院地球環境科学研究科修士論文, 48pp.
- Wadhams, P. (1983): A mechanism for the formation of ice edge bands. *J. Geophys. Res.*, 88, 2813-2818.
- Yamanouchi, T. and K. Seko (1992): Antarctica from NOAA satellites, - Clouds, Ice and Snow-. National Institute of Polar Research, Tokyo, 91pp.

南極海氷域における海氷の季節内変動

馬場賢治¹・見延庄士郎²・若土正暁¹

(1: 北大・低温研、2: 北大・理)

Intraseasonal Variability of Sea Ice Concentration in the Antarctic

Kenji BABA¹, Shoshiro MINOBE², Masaaki WAKATSUCHI¹

(1: Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University,

2: Science, Hokkaido University.)

In order to investigate the intraseasonal variability of sea ice extent in the Antarctic and the atmospheric influence on it, Complex Empirical Orthogonal Function (CEOF) analysis was carried out on daily sea ice concentration field derived by Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) Special Sensor Microwave Imager (SSM/I) and on atmospheric field by European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), for ten years from 1991 through 2000. It was found that the sea ice variability propagates eastward with the wavenumber of 3 and the periods of 8-18 days. The amplitude of the variation of sea ice concentration in the western Antarctic is larger than that in the other part of the Antarctic Ocean. From a spatial phase difference on the intraseasonal time scale in western Antarctic, it was shown that the sea ice variability is caused by the atmospheric variability.

1. はじめに

南極海氷域は季節海氷域であり、その消長が大きく、気候システムに与える影響が大きいことが推測されることから、古くから研究がなされてきた。多くは経年や季節変動などの長周期に関するものであった。Baba and Wakatsuchi(2001)では、冬季の低緯度海氷縁に注目して、1ヶ月未満の季節内時間スケールにおける海氷変動について言及している。彼らは、毎日の海氷密接度データに対して5-31日のバンドパスフィルターを行い、その正負の領域が波数2~4で東進伝播しており、周期が15日程度と言う結果を示した。大気についても海氷同様の現象を示している。今回は、この結果に基づき、通年の海氷域全体に対して拡張した解析を行った。また、海氷と大気の季節内変動の関連性について解析した結果を示す。

2. データと解析手法

海氷データは、NASA Team Algorithmを用いてDMSP SSM/Iにより得られた輝度温度から算出した毎日の海氷密接度(25 × 25km)を使用した。大気は、ECMWFデータの地上10mの風速と2m気温および同露点温度から地衡風を算出し、日平均して使用した。解析期間は1991年から2000年の計10年間である。

Baba and Wakatsuchi(2001)により、海氷の季節内変動は伝播性がみられることから、解析方法は、伝播現象に有効であるComplex Empirical Orthogonal Function (CEOF)解析を使用した。この解析時に5-30日のバンドパスフィルターを施してある。また、この解析を行う際にデータの両端の発散を防ぐために加工してあるため、使用できる結果は1992年から1999年の8年間である。

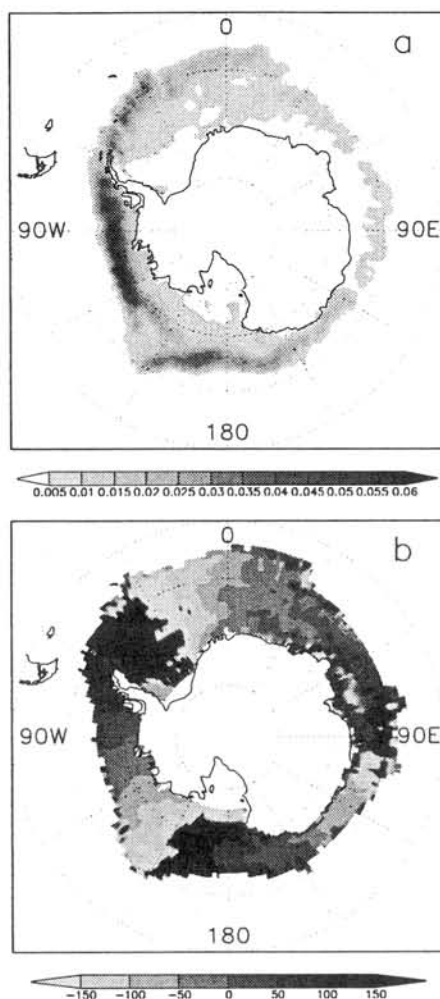


図 1: 海氷密接度の CEOF 解析第 1 モード空間パターンの結果 (8.7%)。 (a) 振幅、 (b) 位相分布。

3. 結果

図 1 に CEOF 解析の第 1 モードの空間パターンの結果を示す。振幅 (a) は、Bellingshausen Sea から Amundsen Sea にかけての西南極 (西経側) 海域を中心とした低緯度海氷縁付近を中心に大きな分布がみられる。一方の東南極海域 (東経側) では振幅の値は小さい。位相分布 (b) からは、波数 3 で東進伝播している様子がみられる。西南極海域では位相分布が連続的に明瞭に現れている。また、海氷域の高緯度側および低緯度側においても同様な位相分布をしていることから、海氷密接度の割合によらず経度に沿って一様に伝播していることが示された。時間関数から振幅は冬季に大きく、周期は 8-18

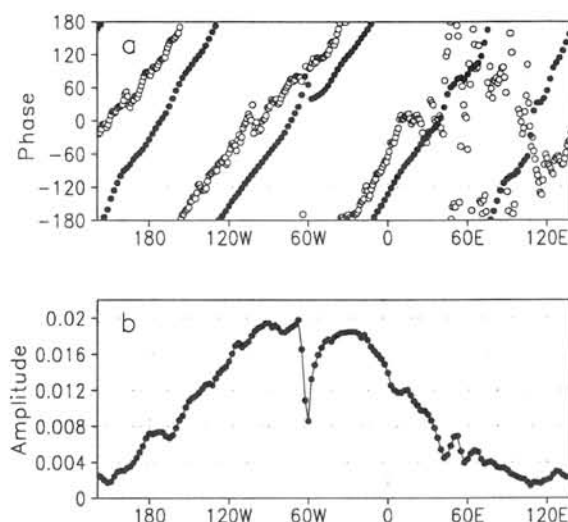


図 2: 66°S における海氷密接度と地衡風南北成分の空間位相の比較 (○: 海氷、●: 地衡風)。 (b) 地衡風の空間振幅。

日ということが求められた。周期に関しては、Baba and Wakatsuchi (2001) とほぼ同様な結果が得られた。

次にこの海氷の変動を引き起こしている原因について考えると、時間スケールから大気場の影響が考えられるため、大気場 (地衡風南北成分) との比較を行った。図 2 は、海氷の CEOF の第 1 モード時間関数に対して地衡風南北成分の回帰を求めたときの空間位相分布、および海氷の CEOF 第 1 モードの空間位相分布を 66°S 上で比較したものである。これをみると、振幅の大きい西南極において、海氷より地衡風が 90 度先行している様子が現れている。この結果から、西南極行においては、大気の季節内変動が海氷の季節内変動に影響していることが示唆された。

参考文献

Baba, K., and M. Wakatsuchi, Eastward propagation of the intraseasonal variability of sea ice and the atmospheric field in the marginal ice zone in the Antarctic. *J. Geophys. Res. Lett.*, 28, 3,669-3,672, 2001.

